جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارۀهشتم، زمستان۱۳۹۲

صص ۱۱۲-۸۷

تعیین زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین نقطه تغییر

عبّاس مفیدی[1]- استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
محسن حمیدیان پور- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران
محمد سلیقه- دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران
بهلول علیجانی- استاد اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۲   تاریخ تصویب:۱۳۹۲/٤/۹

چکیده

باد سیستان به عنوان برجسته‌ترین جریان ترازهای زیرین جو در فلات ایران، بنا به ماهیت، گستره‌ای محلی تا منطقه‌ای را در شرق این فلات اشغال می‌نماید. اگرچه محلی و یا منطقه‌ای بودن باد سیستان موضوعی باز تلقی می‌گردد، اما آغاز و خاتمه ناگهانی وزش باد سیستان در شرق ایران و تغییرات سال به سال قابل ملاحظه در زمان آغاز و خاتمه این باد، نقش برجسته عوامل بزرگ مقیاس و مقیاس منطقه‌ای را در شکل‌گیری باد سیستان متذکر می‌گردد. پژوهش حاضر سعی دارد با بهره‌گیری از روش‌هایی موسوم به «نقطه تغییر»، زمان آغازگری (Onset)، زمان خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان را مورد بررسی قرار دهد. مطالعه با بهره‌گیری از داده‌های روزانه شدت و جهت باد در ایستگاه زابل، به عنوان ایستگاه معرف باد سیستان، برای یک‌دوره ٤۱ ساله (۲۰۱۲-۱۹۷۲) به انجام رسید و جهت تعیین زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان از سه روش Pettitt، SNHT و Buishand استفاده شد. در این تحقیق با بهره‌گیری از سری زمانی روزانه شدت و جهت وزش باد، زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان تعیین گردید. یافته‌ها بیانگر آن است که از میان سه روش تخمین نقطه تغییر، روش پتیت در تعیین زمان آغاز و خاتمه باد سیستان از کارایی مناسب‌تری برخوردار است. بر اساس روش پتیت باد سیستان بطور متوسط در روز ۱۲۲ ام (۲ می) از سال میلادی آغاز شده و تا روز ۲۸۷ ام (١٤ اکتبر) تداوم می‌یابد. بر این اساس، متوسط طول دوره وزش باد سیستان ١٦٥ روز در سال تعیین گردید. یافته‌ها همچنین بیانگر آن است که زمان آغازگری، زمان خاتمه، شدت و طول مدت وزش باد سیستان تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از سالی به سال دیگر نشان می‌دهد. از دیگر نتایج این مطالعه، نبود یک روند معنی‌دار در رفتار تمامی ویژگی‌های باد سیستان است.

کلیدواژه‌ها: باد سیستان، نقطه تغییر، آغازگری، زمان خاتمه، مدت وزش باد.

---

[1] نویسندۀ مسئول: ۰۹۱۵۳۲۵۳۹۷۱ Email: abbasmofidi@um.ac.ir

۱. مقدمه

باد یکی از چند پارامتر اساسی و تعیین کننده هواشناسی است که در مطالعات کشاورزی، شهرسازی، محیط زیست، حمل و نقل، انرژی‌های تجدیدپذیر، همچنین در بررسی محل، نحوه شکل‌گیری و گسترش توفان‌های گرد و غباری و شن‌های روان از اهمیت خاصی برخوردار است (اتکینسون[1]، ۱۹۸۱؛ سلیقه، ۱۳۸۲؛ بیدختی و برومند، ۱۳۸۵؛ لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷). بادها بر اساس معیار وسعت به سه دسته محلی، منطقه‌ای و سیاره‌ای تقسیم می‌شوند (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۸). در بین بادهای محلی ایران، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان شهرتی خاص دارند که در بخش شرقی ایران برای مدتی از سال حاکمیت می‌یابند (حسین‌زاده، ۱۳۷٦، ١٠٤). هانتیگتون[2] (۱۹۰۵) در طی بازدید میدانی خود از دشت سیستان، این منطقه را این گونه توصیف می‌کند" مانند دیگر اشکال طبیعی سیستان، باد اثر زیادی بر زندگی مردم دارد. در طول سه ماه تابستان یک باد پایدار از جهت شمال –شمال‌غرب با سرعت زیاد در شبانه‌روز می‌وزد". همچنین در بیان علت آن می‌نویسد" به نظر می‌رسد باد سیستان دنباله شمال سوی بادهای بسامان باشد که به واسطه روند غالب استقرار کوه‌ها به سمت غرب انحراف یافته است". همچنین مک‌ماهون[3] (۱۹۰٦–الف و ۱۹۰٦–ب) در سفر اکتشافی خود از منطقه سیستان و بلوچستان ایران؛ که حدود دو سال و نیم به طول انجامید به مشکلات زیادی در این منطقه از جمله کاهش شدید آب دریاچه هامون پس از پایان فصل کوتاه مرطوب، افزایش تبخیر و تعرق و نتیجه آن افزایش بیابان‌زایی اشاره دارد. مک ماهون (۱۹۰٦–الف) وزش بادهای شدید را از جمله مشکلات منطقه ذکر می‌کند. او در این رابطه می‌نویسد:" اگر منطقه‌ای شایسته عنوان سرزمین بادها باشد، آن سرزمین سیستان است." او از این باد با عنوان باد صد و بیست روزه سیستان یاد می‌کند که در طول فصل تابستان می‌وزد. مک‌ماهان زمان آغاز وزش باد سیستان را پایان ماه می (اوایل خرداد) یا اواسط ماه ژوئن (اواخر خرداد) می‌داند. او یاد آور می‌شود که باد سیستان بدون هیچ وقفه‌ای و با سرعتی وحشتناک حدوداً تا پایان ماه سپتامبر (اوایل مهر) در حال وزیدن است. این باد در این مدت دارای جهت شمالی متمایل به غرب است و سرعت آن به ۷۰ مایل در ساعت (بیش از ۱۱۰ کیلومتر در ساعت) می‌رسد. نتایج دو پژوهش قدیمی یادشده بر اساس پردازش‌های کمی و یا به واسطه بهره گیری از یک روش علمی حاصل نگردیده، بلکه عمدتاً بر پایه مشاهدات میدانی کوتاه مدت محققان و یا گفت و شنودهایی است که آنان در گذر از منطقه سیستان با ساکنین بومی داشته‌اند. جالب آن که هانتیگتن در ماه مارس از منطقه سیستان عبور نموده و خود باد سیستان را تجربه ننموده است. در سال‌های اخیر نیز به صورت بسیار محدود مطالعاتی در ارتباط با زمان آغاز و پایان باد سیستان انجام شده است. بنا به نوشته علیجانی (۱۳۷۳)، باد ۱۲۰ روزه سیستان در دوره گرم سال یعنی از ۱۵ خرداد تا ۱۵ مهر ماه به مدت ۱۲۰ روز از ارتفاعات شمال‌شرقی به سمت سرزمین‌های جنوب‌شرقی ایران می‌وزد. حسین‌زاده (۱۳۷٦) در این

1 Atkinson
2 Huntington
3 McMahon

زمینه با استفاده از آمار روزانه یک ساله (سال ۱۹۹۵) سعی نمود تا زمان‌های آغاز و پایان باد سیستان را شناسایی نماید. ایشان از پارامتر جهت وزش باد برای شناسایی زمان های آغاز و پایان باد سیستان استفاده نمودند. حسین‌زاده در مطالعه خود تمامی بادهایی را که با فراوانی زیاد از جهت شمال‌شرق و شرق وزیده‌اند جزو بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در نظر گرفته که بر این اساس وزش باد سیستان در ایستگاه زابل در سال ۱۳۷٤ (۱۹۹۵) از ۲۰ ام اردیبهشت ماه آغاز گردیده و به مدت ۱۳۱ روز تداوم یافته و در نهایت در روز ۲٦ ام شهریورماه پایان یافته است. در نقد نتایج بدست آمده، صرف‌نظر از این که محقق تنها از یک سال آماری استفاده نموده است، در تحقیق یاد شده به هیچ عنوان توالی وزش باد در امتداد شمال شرقی مورد توجه قرار نگرفته و در عین حال، در تعیین زمان آغاز و خاتمه وزش باد، به یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های باد سیستان، یعنی شدت وزش آن توجه‌ای نشده است. مشاهدات حاکی از آن است که باد سیستان با تغییر محسوسی در شدت وزش باد در دشت سیستان آغاز می‌گردد، بطوری که در برخی از موارد شدت وزش باد به ٤۰ متر بر ثانیه نیز رسیده که بیانگر وقوع یک توفان بسیار شدید است (طاووسی و رئیس‌پور، ۱۳۸۹). نقش برجسته باد سیستان در ایجاد توفان‌های گردوغباری در منطقه دشت سیستان، توجه تعداد بی شماری از محققان را به خود جلب نموده است (میدلتون[1]، ۱۹۸٦؛ گودی[2] و میدلتون ۲۰۰۱؛ خسروی، ۱۳۸۹؛ راشکی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ۲۰۱۳؛ علی‌زاده چوباری و همکاران، ۲۰۱۳؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲). اگرچه محققان یادشده در بررسی سازو کار حاکم بر وقوع توفان‌های گردوغباری به برخی از جنبه‌های باد سیستان به عنوان عامل اصلی ایجاد کننده آن توجه نموده‌اند، اما هنوز تاثیر طول مدت وزش باد سیستان، زمان آغازگری زود هنگام و یا دیرهنگام آن، زمان اوج وزش باد، همچنین زمان پایان زودهنگام و یا دیرهنگام این باد بر تعداد و گستره توفان‌های گردوغباری مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

طبق نظر سلیقه (۱۳۸۹)، زمان آغازگری و پایان باد سیستان به واسطه تغییر سریع و انتقال ناگهانی در گردش جو و سرعت باد در سرتاسر خراسان جنوبی و شمال سیستان یا به بیانی شرق ایران قابل تشخیص است. در واقع سلیقه (۱۳۸۹) شکل گیری باد ۱۲۰ روزه سیستان را ناشی از برهم‌کنش سامانه‌های جوی حاره‌ای و جنب‌حاره‌ای بر روی منطقه می داند. بررسی پژوهش‌های انجام شده بیانگر آن است که با وجود قدمت باد سیستان، و همچنین سابقه طولانی پژوهش در رابطه با این باد، هنوز یک بررسی نسبتاً جامع و دقیق از زمان آغاز، طول مدت وزش و زمان خاتمه باد سیستان به انجام نرسیده است. بر این اساس، مطالعه حاضر سعی دارد ضمن بهره‌گیری از روش‌های شناسایی «نقطه تغییر»[3] و با استفاده از داده‌های روزانه سرعت و جهت باد به این مهم دست یابد.

روش‌های متعددی برای محاسبه و شناسایی نقطه تغییر در پدیده های ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار گرفته است، در عین حال، روش‌های یاد شده در پژوهش‌های متعددی با موضوعات متنوعی چون تعیین نقاط تغییر میزان بارندگی

1 Middelton
2 Goudie
3 Change Point

(تامپسون[1]، ۱۹۸٤)، بررسی پیوستگی سری زمانی دما (گالت و همکاران[2]، ۱۹۹۱)، شناسایی تغییرات اقلیمی (سالو[3]، ۱۹۸۷: ۱٤۰۱؛ لوند و ریوس[4]،۲۰۰۲: ۲٥٤۷)، تعیین قطعی زمان آغازگری و خاتمه باران‌های موسمی (کوک و باکلی[5]، ۲۰۰۹: ۱) به کار گرفته شده است. در این میان، کوک و بالکلی (۲۰۰۹)؛ با استفاده از داده‌های روزانه بارش و به کار بردن روش رگرسیون دو فازه[6]، سعی در شناسایی زمان آغازگری، زمان خاتمه و طول دوره[7] باران‌های موسمی در کشور تایلند داشته اند. ایشان در نهایت نقشه‌های زمان آغازگری و زمان خاتمه باران‌های موسمی را برای کشور تایلند تهیه نمودند.

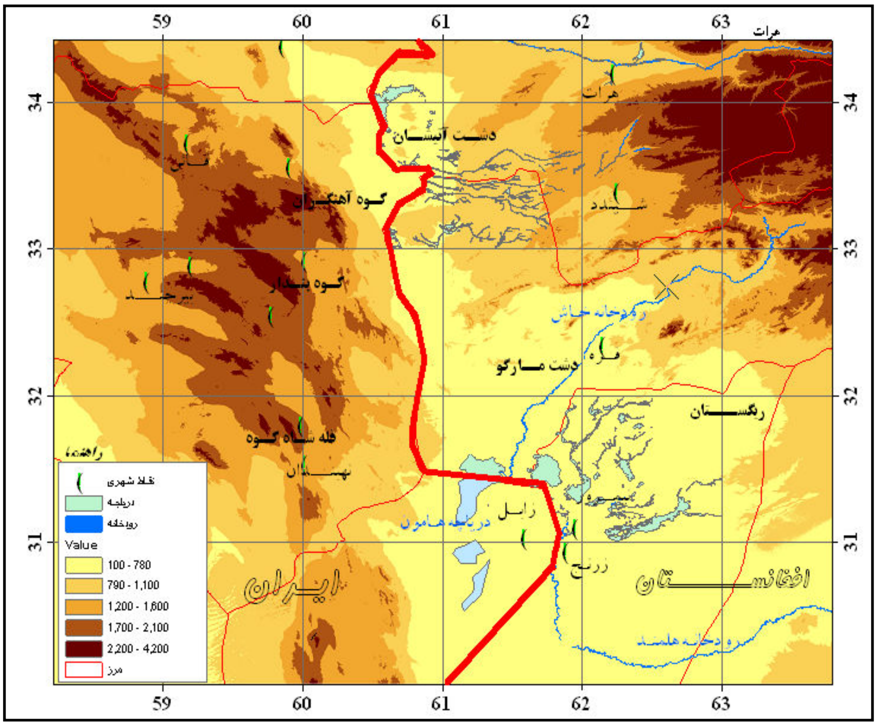
با توجه به توانمندی روش‌های نقطه تغییر در شناسایی گسیختگی‌ها، تغییر روندها و تغییرات ناگهانی در پدیده‌های ژئوفیزیکی، تحقیق حاضر سعی دارد ضمن بهره‌گیری از روش‌های یاد شده برای سؤالات زیر پاسخی فراهم نماید: ۱- از منظر اقلیمی باد سیستان در چه زمانی از سال آغاز می گردد؟ ۲- باد سیستان در چه زمانی از سال خاتمه می یابد و طول مدت وزش این باد چند روز است؟ ۳- آیا زمان آغازگری، زمان خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان در طول زمان تغییر نموده است؟

۲. منطقه مورد مطالعه

دشت سیستان در مرکز یک حوضه بسته وسیع جای گرفته که از نظر هیدرولوژیکی فاقد خروجی بوده و از منطقه ای به وسعت ۳۳٥۰۰۰ کیلومتر مربع تغذیه می نماید (اسمیت، ۱۹۷٤). دشت یاد شده در حدفاصل استان خراسان جنوبی، شمال سیستان و بلوچستان و جنوب‌غرب کشور افغانستان واقع شده است (شکل۱). بخش مرکزی این دشت دارای ارتفاعی بین ٥۰۰ تا ۹۰۰ متر می باشد. این دشت از شمال به پیشکوه های غرب هندوکش که قله هایی با بیش از ٤۰۰۰ متر ارتفاع دارند منتهی می گردد. دشت سیستان از جانب غرب، جنوب و شرق با کوه هایی که تا ۲۰۰۰ متر ارتفاع دارند محصور گردیده است. این دشت که زمانی به عنوان «سبد نان غرب آسیا» قلمداد می شد (گلداسمید، ۱۸۷٦ به نقل از ویتنی[8]، ۲۰۰٦)، به عنوان قلمرو اصلی وزش باد سیستان، در نواحی پست از شرایط اقلیمی «خشک و بیابانی» و در نواحی کوهستانی و مرتفع، از آب و هوای «نیمه خشک و معتدل» برخوردار است. مقدار بارندگی در طول سال خیلی کم بوده و از ۱۰۰ میلی‌متر فراتر نمی‌رود. در واقع منطقه مورد مطالعه از یک شرایط سخت اقلیمی برخوردار

1 Thompson
2 Gullet *et al*.
3 Solow
4 Lund and Reeves
5 Cook and Buckley
6 Two-phase regression model
7 Onset, Withdrawal and wind blowing duration
8 Goldsmid 1876 ; Whitney 2006

است، بطوری که بارش اندک، نوسانات دمایی شدید و خشکسالی‌های گسترده و پی در پی از خصوصیات اقلیمی ایــن منطقه محسوب می گردد. به طور کلی در نواحی کوهستانی پوشش گیاهی فشرده‌تر بوده و از اسـتپ‌هـای کوهـستانی تشکیل شده است. در مقابل، نواحی پست از پوشش گیاهی تنک‌تری برخوردار بوده و عمدتاً در ایـن نـواحی گیاهـان شوری پسند رشد می نمایند و یا در برخی موارد عاری از پوشش گیاهی هستند. در زابل واقع در مرکز دشت سیستان، متوسط بارندگی سالانه به کمتر از ٦٠ میلی متر، متوسط دمای سالانه به بیش از ۲۲ درجه سانتیگراد و متوسـط سـالانه رطوبت نسبی به ۳۸ درصد می رسد. منطقه سیستان براساس طبقه بندی دومارتن با شـاخص خـشکی ۱/۹ در قلمـرو مناطق فراخشک جای می گیرد (میری و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۱ توپوگرافی منطقه مورد مطالعه.

۳. مواد و روش‌ها

در این مطالعه جهت شناسایی زمان آغازگری و زمان خاتمه باد سیستان از سه روش معمول شناسـایی نقطـه تغییـر استفاده شد. روش‌های یاد شده از دو مزیت اصلی برخوردارند: نخست آن که تعیین دقیق کمیـت‌هـای مـذکور بـدون استفاده از هیچ گونه آستانه انتخابی (که معمولاً سلیقه‌ای است) امکان‌پذیر است. دوم آن که، روش‌های نقطه تغییر، تنها با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی قابل انجام می‌باشند (کوک و همکاران، ۲۰۰۹: ۱).

برای انجام مطالعه از داده‌های روزانه و ساعتی سرعت و جهت باد در ایستگاه زابل برای یک دوره آماری ٤١ ساله (۲۰۱۲–۱۹۷۲) استفاده شد. طولانی بودن طول دوره آماری، قرارگیری در کانون وزش باد سیستان و فراهم نمودن امکان مقایسه نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج مطالعات پیشین از جمله مواردی است که سبب انتخاب ایستگاه زابل به عنوان ایستگاه نماینده باد سیستان در مطالعه حاضر گردیده است. ابتدا داده‌ها از جهت نقص آماری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در نهایت دوره ٤١ ساله ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۲ برای انجام مطالعه انتخاب شد. دوره یادشده فاقد هرگونه نقص آماری بوده است. به منظور استخراج آمار روزانه، برنامه‌ایی در نرم‌افزار Matlab نوشته شد و پس از استخراج داده‌ها و ارزیابی صحت و سقم آنها، سه روش محاسبه تعیین نقطه تغییر به کار بسته شد. به منظور تعیین زمان آغازگری و زمان خاتمه باد سیستان از روش‌های محاسبه نقطه تغییر استفاده نموده‌ایم. نقطه تغییر یک ویژگی دائم برای سری‌های اقلیمی محسوب می گردد (لاند و ریوس، ۲۰۰۲، ۱). نقاط تغییر می‌توانند در اثر عوامل متعددی مانند تغییرات دوره‌ای اقلیم با وجود روند افزایشی یا کاهشی، تغییر در ساختار گردش جو، تغییر مکان یک ایستگاه و یا تغییر ابزار اندازه‌گیری و ... بوجود آیند. تعریف ما از نقطه تغییر، نقطه ای در زمان است که به دلیلی مشخص، پارامترهای سری زمانی در آن نقطه دستخوش تغییرگردیده اند. برای نمونه به فرآیند نرمال $X_i \sim N(\mu_0, \sigma_0^2), i = 1,2,..., \tau$ و $X_i \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), i = \tau+1,..., T$ توجه کنید. یعنی، فرآیند از یک توزیع نرمال با میانگین μ_0 و واریانس σ_0^2 تا نقطه تغییر τ پیروی می‌کند. در پی نقطه تغییر یک یا چند پارامتر از فرآیند (برای مثال واریانس و یا میانگین) تغییر می‌نماید (امیری، ۲۰۱۱، ٦٧٤). در واقع تغییری در الگوی رایج به وجود می‌آید. یک تخمین‌گر نقطه تغییر درصدد یافتن نقطه از زمان است که در آن نقطه زمانی پارامترهای سری زمانی تغییر نموده‌اند. همانطور که قبلا ذکر گردید؛ در این پژوهش به منظور تعیین نقطه تغییر در سری زمانی از سه آزمون پتیت[1]، SNHT و Buishand استفاده شد. ویژگی‌های هریک از آزمون‌های بکار گرفته شده به شرح زیر می‌باشد:

- آزمون Pettitt

آزمون پتیت (پتیت، ۱۹۷۹) یک روش ناپارامتریک است که نیاز به برازش هیچ توزیعی بر روی سری داده‌ها ندارد و به منظور تعیین نقطه تغییر در یک سری زمانی استفاده می‌شود و می‌توان به طورخلاصه آن را به شکل زیر توصیف نمود. در واقع با استفاده از این آزمون نقطه تغییر به این شکل شناسایی می‌گردد که بواسطه این نقطه، سری زمانی به دو گروه داده تقسیم می‌شوند که این دو گروه $(x_1, x_2, \ldots x_t)$ و $(x_{t+1}, x_{t+2}, \ldots x_T)$ هر یک دارای ویژگی‌های آماری مشخصی هستند. آماره آزمون $U_{t,T}$ از معادله زیر بدست می‌آید. آماره مورد استفاده در این آزمون عبارت است از:

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{T} Dij \qquad (۱)$$

که i و j عبارتند از مقادیر سری زمانی متوالی $(x_1, x_2, \ldots x_t)$ و $(x_{t+1}, x_{t+2}, \ldots x_T)$ ، t و T شماره ترتیبی داده‌های

1 Pettitt

سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن (زانگ و همکاران[1]، ۲۰۰۹). پس از محاسبه آماره پتیت برای فرض‌های متعدد جایگزین می‌گردد. به طوری که برای آزمون‌های دو طرفه آماره عبارت است از:

$$K_t = \max_{1 \le t < T} |U_{t,T}| \qquad (۲)$$

-آزمون SNHT

آزمون SNHT (آزمون نرمال استاندارد یکنواختی) توسط الکساندرسون در سال ۱۹۸٤ و ۱۹۸٦ به منظور تعیین نقطه تغییر در سری زمانی داده‌های بارندگی توسعه پیدا کرد. در واقع سری زمانی Xi باید دارای توزیع نرمال باشد و پس از آن فرض صفر و دیگر فرض‌ها به شرح زیر تعریف می شوند. این آماره به شکل زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_0 = \max_{1 \le t < T} [v\bar{z}_1 2 + (n-v)\bar{z}_2 2] \qquad (۳)$$

که برای محاسبه $\bar{Z}_1$ و $\bar{Z}_2$ به شکل زیر تعریف می گردند:

$$\bar{Z}_1 = \frac{1}{v}\sum_{t=1}^{v} x_t \qquad (٤)$$

$$\bar{Z}_2 = \frac{1}{n-v}\sum_{t=v+1}^{T} x_i \qquad (۵)$$

جایی که $\bar{Z}_1$ و $\bar{Z}_2$ متوسط حسابی از مقادیر سری زمانی قبل و پس از تغییر، مقادیر v محتمل ترین نقطه تغییر و n شماره مقادیر در سری زمانی می باشند.

-آزمون Buishand

آزمون Buishand (۱۹۸۲) می‌تواند برای متغیرهایی که از هیچ یک از توزیع‌ها پیروی نمی‌کنند مورد استفاده قرار گیرد. اما خصوصیاتش به طور ویژه برای حالت‌های نرمال پیش‌بینی شده است. در این پژوهش با توجه به هدف مطالعه، مانند دیگر آزمون‌های دو طرفه، آزمون Buishand مورد توجه قرار گرفته است. آماره به شرح زیر تعریف می گردد:

$$S_o^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^{k}(x_i - \hat{\mu}), k = 1,2,...,T \qquad (٦)$$

و

$$S_k^{**} = S_k^* / \hat{\sigma} \qquad (۷)$$

و در نهایت آماره

$$Q = \max_{1 \le k < T} |S_k^{**}| \qquad (۸)$$

که x_i مقادیر سری زمانی، $\hat{\mu}$ میانگین حسابی مقادیر سری زمانی و $\hat{\sigma}$ انحراف معیار سری زمانی و k نقطه تغییر است. شایان ذکر است که در هر سه روش بالا فرض‌های آزمون عبارتند از:

فرض صفر: متغیر Xi در زمان T از توزیع میانگین و واریانس برابر ۰ و ۱ پیروی می‌کند.

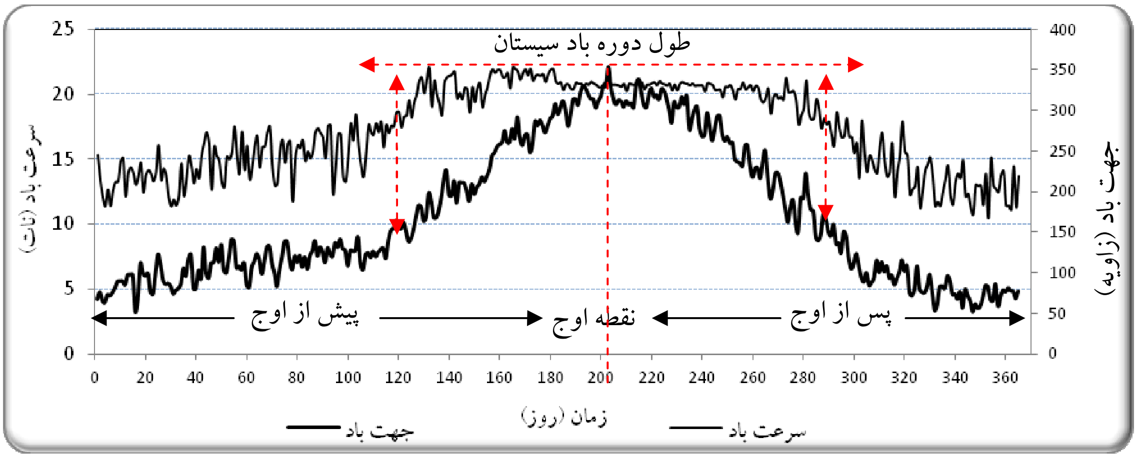
فرض مقابل: بین زمان ۱ و n متغیرها از یک توزیع N(µ1, 1)، پیروی می‌کنند و بین n+1 و T متغیرهای از توزیع

1Zhang

$N(\mu2, 1)$، پیروی می‌کنند.

در صورت رد شدن فرض صفر، با تایید اینکه در سری زمانی نقطه تغییر وجود دارد فرض مقابل پذیرفته می‌شود. در این تحقیق معنی‌داری فرض مقابل (وجود نقطه تغییر) در هر یک از روش‌ها با استفاده از روش مونت‌کارلو در سطح ۹۵٪ مورد آزمون و سنجش قرار گرفته است.

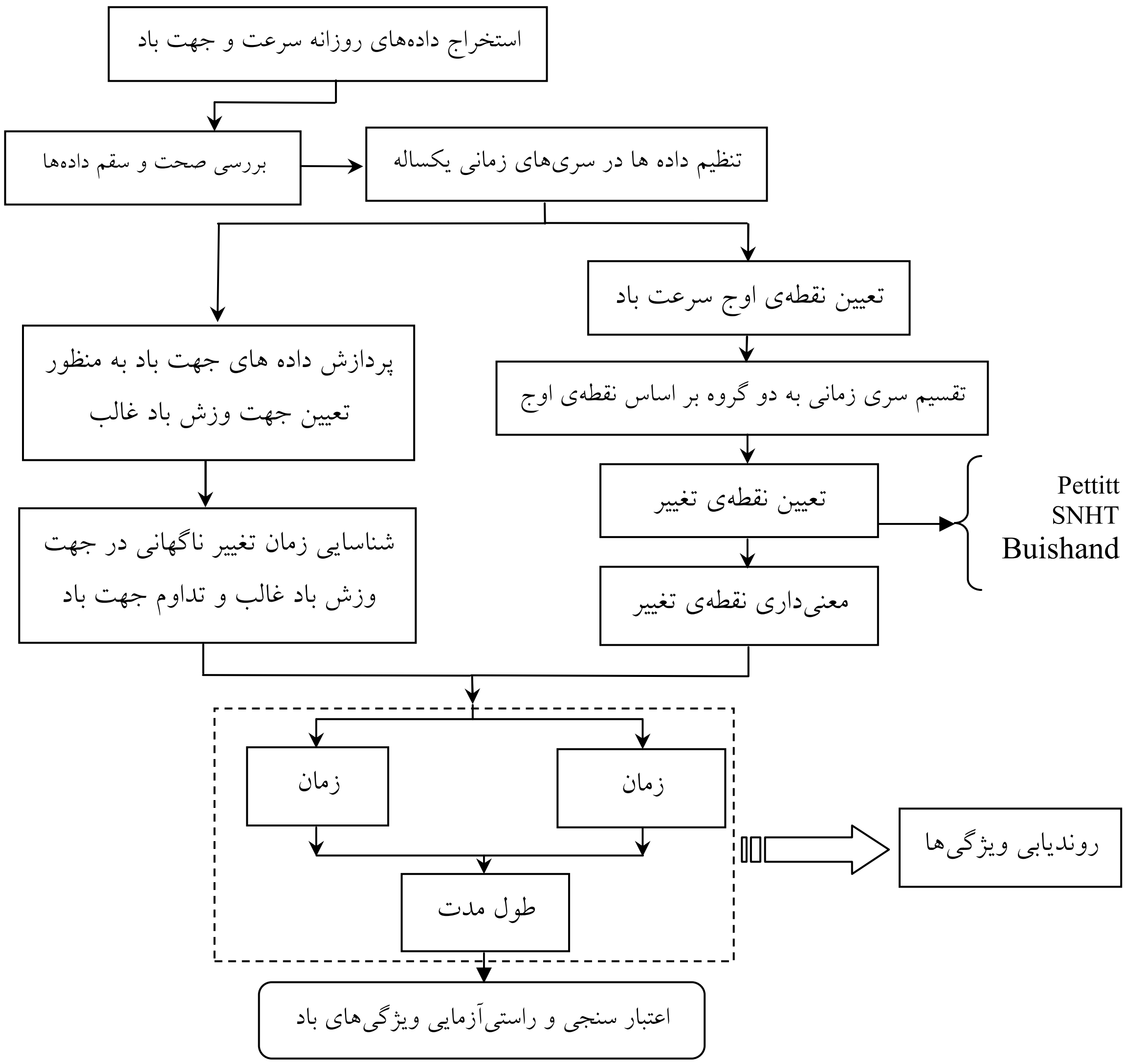
شکل (۲) متوسط سرعت و جهت باد ایستگاه زابل را برای دوره زمانی (۲۰۱۲-۱۹۷۲) نمایش می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست، سرعت باد در طول زمان بر اثر دلایل مختلف افزایش می‌یابد به طوری که در روز ۲۰۲ (۲۱ جولای) به اوج خود می‌رسد. این اتفاق در هر سال در یک زمان مشخص رخ داده است. با توجه به شکل۲، ایستگاه زابل تا روز تقریبا ۱۱۰ ام نوسان‌های بالایی را در شدت باد تجربه می نماید و در عین حال تا این زمان چندان بر سرعت باد افزوده نمی‌شود، بطوری که ایستگاه زابل بادی با سرعت متوسط ٦/٦ نات را تجربه می کند. اما از روز ۱۱۰ ام ایستگاه زابل با یک جهش ناگهانی در شدت وزش باد مواجهه می‌گردد و سرعت وزش باد در ظرف زمانی کوتاهی افزایش می‌یابد و سرعت متوسط باد به ۲۲ نات در ساعت بالغ می گردد. این روند افزایشی تا روز ۲۰۲ ام ادامه دارد از این روز به بعد سرعت باد سیستان تا روز ۳۰۰ ام با کاهش همراه است. از روز ۳۰۰ ام به بعد مجدداً ایستگاه زابل بادهای با شدت کمتر و نوسان بالا را تجربه می نماید. آنچه که قابل توجه است در طول دوره گرم سال، جهت باد نیز همچون سرعت باد از نوعی تغییر جهت نسبتاً ناگهانی و سریع در زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان برخوردار است. به عبارتی جهت وزش باد در ایستگاه زابل نیز رفتاری مشابه رفتار شدت باد را تجربه می نماید (شکل۲). شایان ذکر است که باد سیستان در زمان اوج وزش خود، بطور مداوم و پیوسته از جهت شمال غربی می وزد.



شکل۲ متوسط درازمدت (۲۰۱۲-۱۹۷۲) شدت (خط ضخیم) و جهت باد (خط نازک) در ایستگاه زابل. خط چین قرمز، زمان متوسط محاسبه شده برای اوج وزش باد سیستان (نقطه اوج)، همچنین زمان های متوسط آغازگری و خاتمه باد سیستان را نشان می دهد.

بنابراین به منظور محاسبه زمان آغاز و زمان خاتمه باد سیستان، ابتدا برای هر سال، زمان اوج یا نقطه اوج شدت باد در مسیر تکوین فصلی باد سیستان استخراج گردید. سپس سری زمانی داده‌ها برای هرسال خاص (X_T)، بر اساس نقطه

اوج به دو دوره زمانی کوچک‌تر شامل سری قبل از رسیدن سرعت باد به نقطه اوج (X_t) و سری بعد از رسیدن سرعت باد سیستان به نقطه اوج (X_{t+1}) تقسیم گردید (شکل۲). در ادامه با بهره گیری از سه روش تعیین نقطه تغییر و اعمال آنها بر روی دو سری X_t و X_{t+1} زمان آغازگری و زمان خاتمه باد سیستان به تفکیک برای هر یک از سال های دوره ٤١ ساله شناسایی شد. در واقع داده‌های قبل از نقطه اوج سرعت باد برای محاسبه آغاز باد سیستان و داده‌های بعد از آن برای محاسبه زمان خاتمه باد مورد استفاده قرار گرفت و در عین حال با استفاده از زمان آغاز و خاتمه وزش باد سیستان، طول مدت وزش باد نیز محاسبه شد. به منظور خلاصه نمودن مطالب، مراحل انجام مطالعه به شکل یک مدل مفهـومی در شکل ۳ نشان داده شده است.

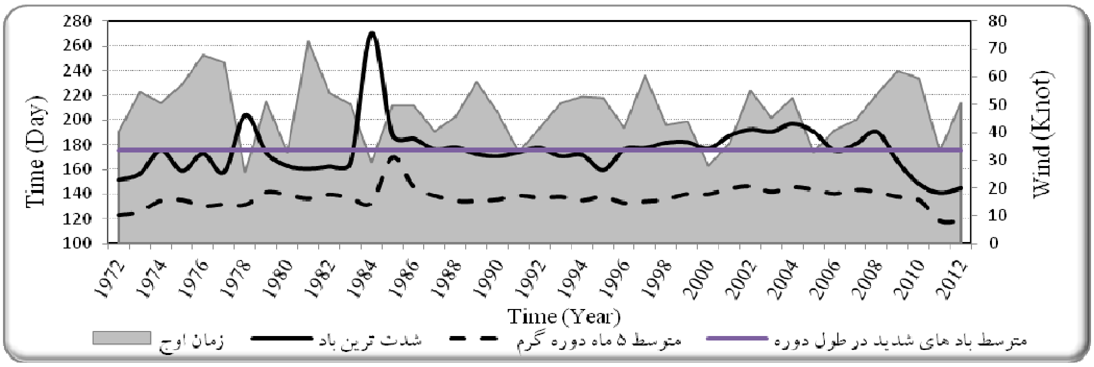


شکل۳ مدل مفهومی از نحوه انجام پژوهش

٤. بحث و نتایج

٤,١. بررسی آغازگری و خاتمه باد سیستان با استفاده از روش‌های نقطه تغییر

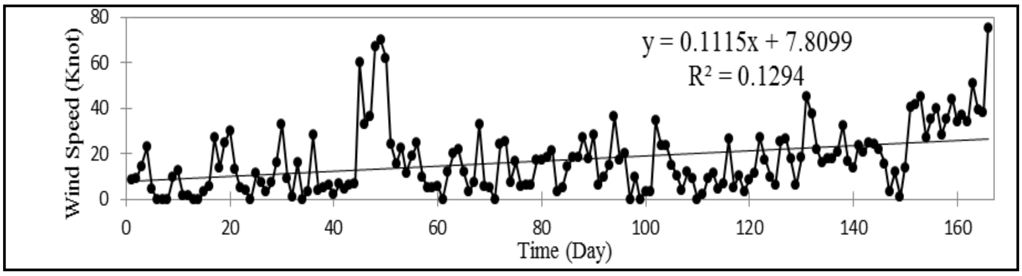
در این بخش سعی خواهد شد با بهره گیری از سه روش تخمین نقطه تغییر و با استفاده از متغیر شـدت بـاد زمـان های آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان مورد بررسی قرار گیرد. با بررسی‌های انجام شده بر روی شدت وزش باد، زمان اوج شدت وزش باد سیستان (بیشینه سرعت باد) در هیچ کدام از سال های مورد مطالعه مشابه دیگـری نبوده و در واقع نقطه زمانی اوج سرعت باد از سالی به سال دیگر تغییر می نماید (شکل٤). همانطوری که شکل٤ نشان می دهد، این امر موجب گردیده تا در برخی از سال‌ها زمان اوج سرعت باد (نقطه اوج) بسیار زودهنگـام (ماننـد سـال ۱۹۷۸ که در روز ۱۵۲ ام اتفاق افتاده است) و در برخی از سال‌ها بسیار دیرهنگام بوقوع بپیوندد (مانند سال ۱۹۸۲ که در روز ٢٦٤ ام اتفاق افتاده است). البته این نشان دهنده متفاوت بودن طول مدت وزش باد سیستان در هر سال نیز می‌باشد. نکته قابل ذکر دیگر آن که، علاوه بر تغییرات سال به سال در وقوع زمان اوج شدت باد، مقادیر بیـشینه شـدت بـاد نیـز تفاوت‌های محسوسی را از سالی به سال دیگر نشان می‌دهد، بطوریکه در طول دوره ٤١ ساله، بالاترین میزان سرعت باد در زمان اوج، حدود ۷۵/٦ نات (km/h ١٤٠/٠١) در سال ١٩٨٤ رخ داده است؛ که بر اساس طبقه‌بندی باد در شاخص بوفورت جزء بادهای بسیار شدید (طوفان بسیار شدید) محسوب می گردد. درمقابل، پایین‌ترین سرعت باد در زمان اوج به طور متوسط حدود ١٦/٧٢ نات در سال ٢٠١٢ بوقوع پیوسته است. متوسط شدت باد نیز در طول دوره آماری (١٩٧٢ الی٢٠١٢) حدود ٣٣/٥٧ نات (km/h ٦٢/١٧) محاسبه گردیده است (شکل ٤).



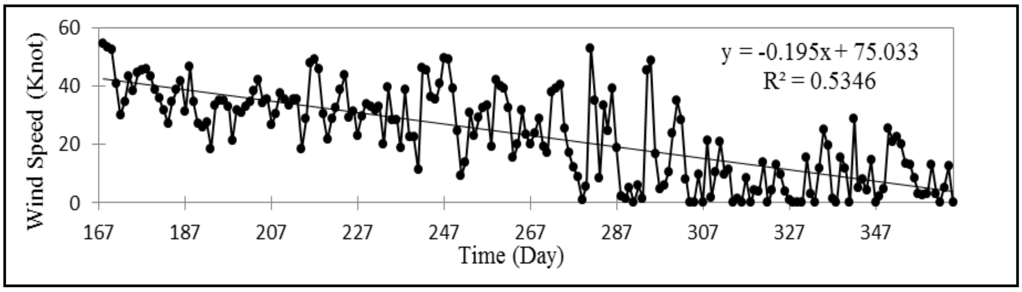
شکل٤ تغییرات سال به سال در وقوع زمان اوج شدت باد سیستان (رنگ خاکستری، بر اساس روزهای ژولیوسی از اول ژانویه) و میزان بیشینه شدت باد (خط ممتد سیاه) برای ایستگاه زابل در طول دوره ٤١ ساله (٢٠١٢–١٩٧٢). برای مقایسه، شدت متوسط باد سیستان برای ۵ ماه دوره گرم (می تا سپتامبر) با خط چین سیاه و شدت متوسط درازمدت باد با خط ممتد آبی نشان داده شده است.

همان‌طوری که در روش پژوهش آورده شده است، به منظور شناسایی زمان آغـازگری و خاتمـه بـاد سیـستان، محاسبه نقطه تغییر به تفکیک و بطور مجزا برای هر یک از سال‌ها و بـرای هریـک از روش‌هـای آمـاری بـه انجـام

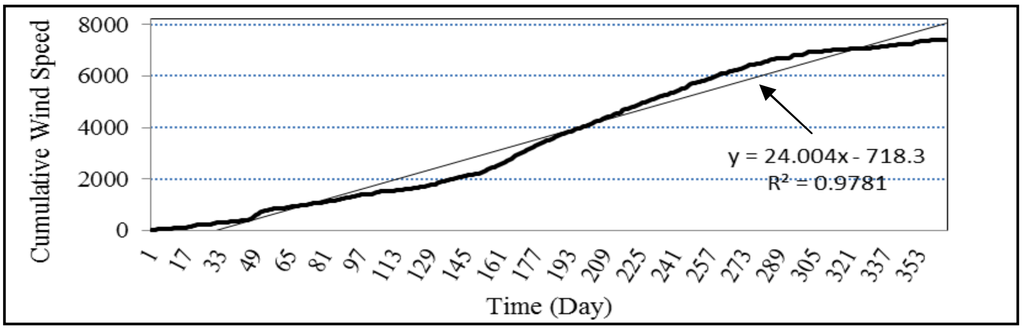
رسیده است، که نمایش نمودارها و محاسبات مربوط به تمامی سال‌ها امکان‌پذیر نبوده و از حوصله این مقاله خارج است. بنابراین در این بخش از مقاله به منظور تعیین زمان آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان، جزئیات مربوط به سال ۱۹۸٤ ارائه گردیده و از نشان دادن نمودارها و اشکال مربوط به سایر سال‌ها صرفنظر گردید. شایان ذکر است که سال ۱۹۸٤ بالاترین میزان سرعت باد را در طول دوره آماری مورد مطالعه تجربه نموده است. شکل‌های ۵ و ٦ به ترتیب نمایش دهنده متوسط روزانه سرعت باد، قبل و پس از زمان اوج در سال ۱۹۸٤ است. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد با برازش یک رگرسیون خطی ساده در هر دو سری زمانی (قبل و پس از اوج)، روند افزایشی و کاهشی در داده‌ها مشاهده می‌گردد. در واقع اگر هر یک از سری‌های زمانی (T) را به دو سری از نقطه تقریبا میانی تقسیم کنیم. پارامترهای آماری $\hat{\mu}_{1,2}$ و $\alpha_{1,2}$ در هر یک از سری‌های زمانی با یکدیگر دارای تفاوت معنی‌دار هستند.



شکل۵ متوسط سرعت باد در سال ۱۹۸٤ مربوط به دوره قبل از اوج سرعت



شکل٦ متوسط سرعت باد در سال ۱۹۸٤ مربوط به دوره بعد از اوج سرعت

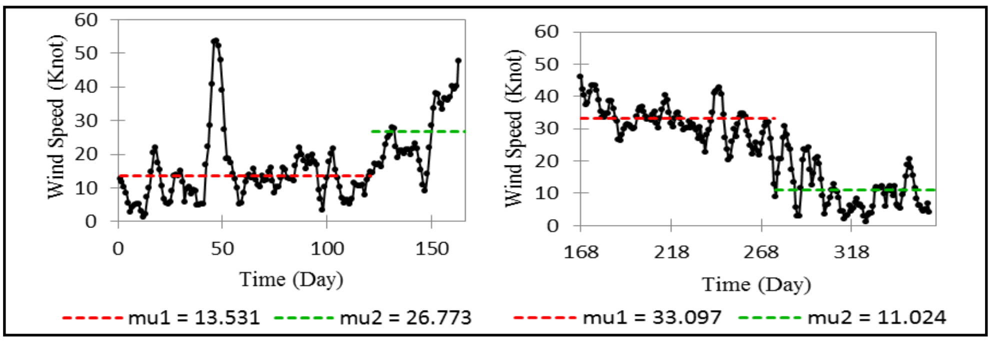


شکل۷ **مقدار تجمعی سرعت متوسط روزانه باد در سال** ۱۹۸٤

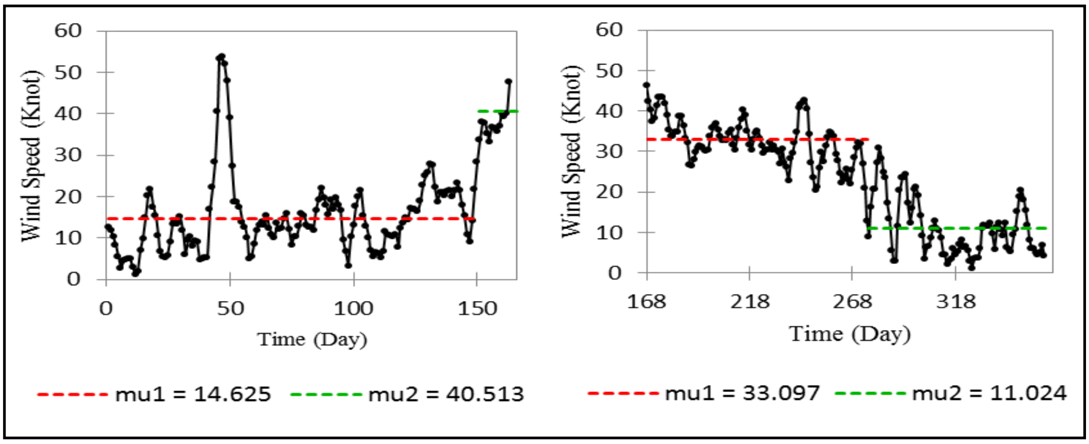
به بیانی دیگر باد در ابتدای سال (ژانویه) کمترین مقدار شدت خود را در منطقه سیستان تجربه می کند و سپس با گذشت زمان سرعت باد افزایش می‌یابد. در واقع روند سری زمانی قبل از نقطه اوج افزایشی است (شکل ۵)، به طوری که در نهایت به مقدار ۷۵/٦ نات (۱٤۰/۰۲ km/h) برابر با یک طوفان خیلی شدید می‌رسد. در مقابل، پس از اوج، از میزان شیب خط کاسته شده و خط روند کاهشی به خود می‌گیرد (شکل ٦). شکل ۷ مقدار تجمعی سرعت متوسط باد روزانه در سال ۱۹۸٤ را نشان می دهد؛ این شکل تغییرات ناگهانی در شیب خط را بهتر نمایش می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد خط برازش داده شده سری زمانی را در سه نقطه قطع می‌کند. به بیانی دیگر، دوره قبل از آغاز باد سیستان و پس از خاتمه آن شیب خط نزدیک به صفر است و باد از شدت کم برخوردار است. با آغاز وزش باد سیستان لحظه به لحظه بر مقدار شدت باد افزوده شده و شیب خط تندتر می‌شود و پس از خاتمه، مجدداً شیب خط کاهش می‌یابد.

همانطوری که قبلا بیان شد، سری زمانی کل در هر سال، بر اساس اوج سرعت باد به دو سری زمانی شامل سری قبل از اوج و سری بعد از اوج تقسیم گردید. سپس با استفاده از روش‌های شناسایی نقطه تغییر، نقطه تغییر برای هر سری زمانی محاسبه گردید که نقطه تغییر معنی‌دار در داده‌های پیش از اوج سرعت باد و پس از آن به ترتیب منطبق بر شروع و خاتمه باد سیستان است و طول دوره وزش باد سیستان از تفاضل بین این دو محاسبه می‌گردد. برای نمونه بر اساس سه روش پتیت، SNHT و بویشند، آغازگری باد سیستان در سال ۱۹۸٤، به ترتیب در روزهای ۱۲۱، ۱۵۰ و ۱۲۵ (به طور متوسط در روز۱۳۲) و خاتمه آن در روز ۲۷۵، ۲۸٦ و ۲۷۵ (به طور متوسط روز ۲۷۷) رخ داده است. بر این اساس می‌توان گفت طول دوره وزش باد سیستان در سال۱۹۸٤، که با شدیدترین بادها در طول دوره ٤۱ ساله مواجه بوده است، برابر با ۱٤۵ روز خواهد بود (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰).

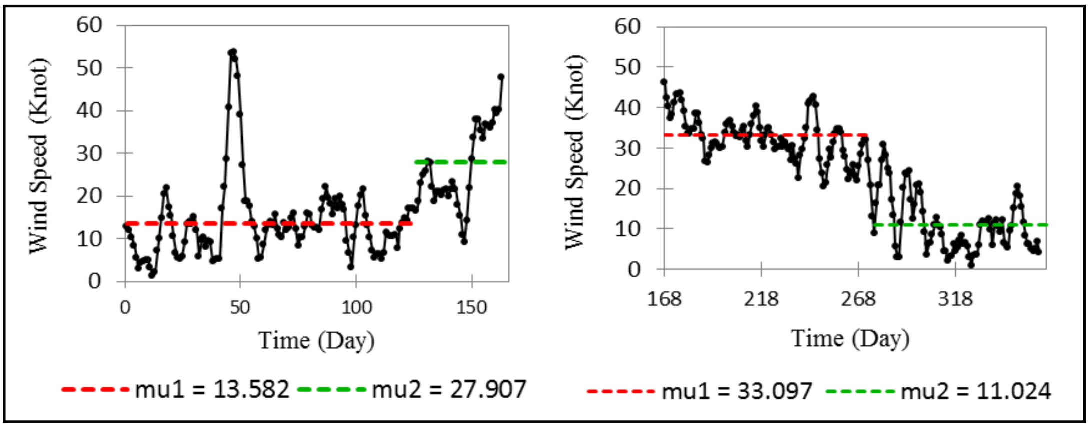
شکل‌های (۸) تا (۱۰) نمایش‌گر زمان آغاز و خاتمه وزش باد سیستان در سال ۱۹۸٤ است. این کار برای تمامی سال‌های آماری مورد مطالعه انجام شدکه نتایج آن در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ و پارامترهای محاسباتی آنها در جدول‌های ۱ و ۲ در بخش ضمیمه آورده شده است. نتایج متفاوت برای سه روش بکار گرفته شده در برخی از سال‌ها بدیهی است. در برخی از سال‌ها روش SNHT نتایج بسیار متفاوتی را در قیاس با دو روش دیگر از خود نشان داده است.



شکل۸ زمان آغازگری (چپ) و زمان خاتمه (راست) باد سیستان در سال ۱۹۸٤ بر اساس روش پتیت. جهت حذف نوسانات روزانه در شدت وزش باد از میانگین متحرک ۵ روزه استفاده شد.

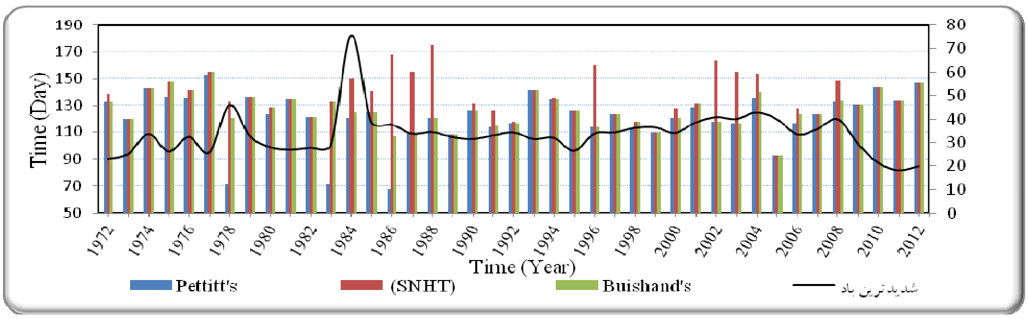


شکل ۹ زمان آغازگری (چپ) و زمان خاتمه (راست) باد سیستان در سال ۱۹۸٤ بر اساس روش SNHT



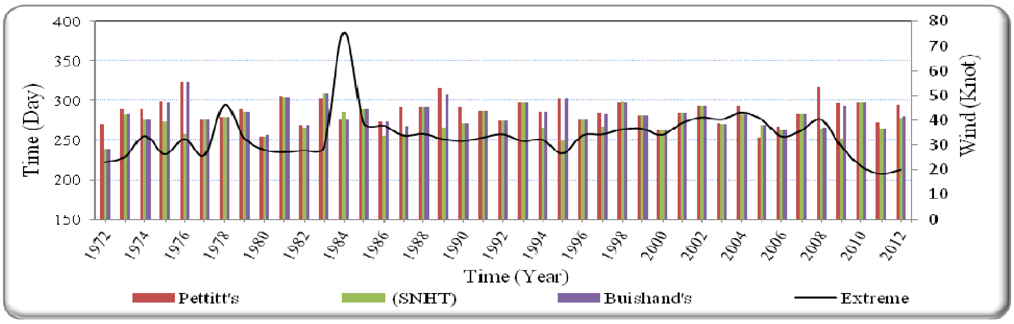
شکل ۱۰ زمان آغازگری (چپ) و زمان خاتمه (راست) باد سیستان در سال ۱۹۸٤ بر اساس روش بویشند.

باید توجه داشت که یکی از پیش شرط‌های اصلی روش SNHT نرمال بودن سری زمانی است، بنابراین نتایج متفاوت این روش با دو روش دیگر دور از انتظار نیست. به بیانی دیگر، این روش برای داده‌های نرمال نتایج بهتری را از خود به نمایش می گذارد. علی رغم تفاوت یادشده، به طور کلی خصوصیات آماری باد در هر سه روش به یکدیگر بسیار نزدیک است. شایان ذکر است که سری زمانی سرعت باد در دو دوره زمانی قبل و بعد از زمان اوج از توزیع نرمال تبعیت ننموده است.

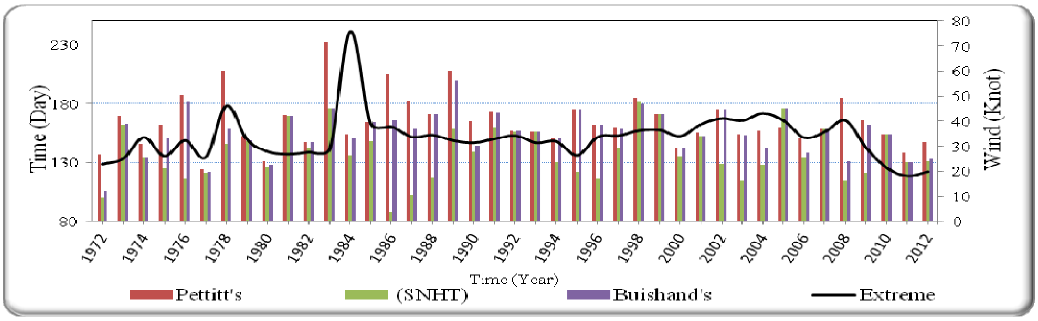


شکل ۱۱ زمان آغاز باد سیستان به روش‌های متفاوت آماری در دوره ٤١ ساله به همراه میزان بیشینه شدت باد (خط ممتد سیاه).

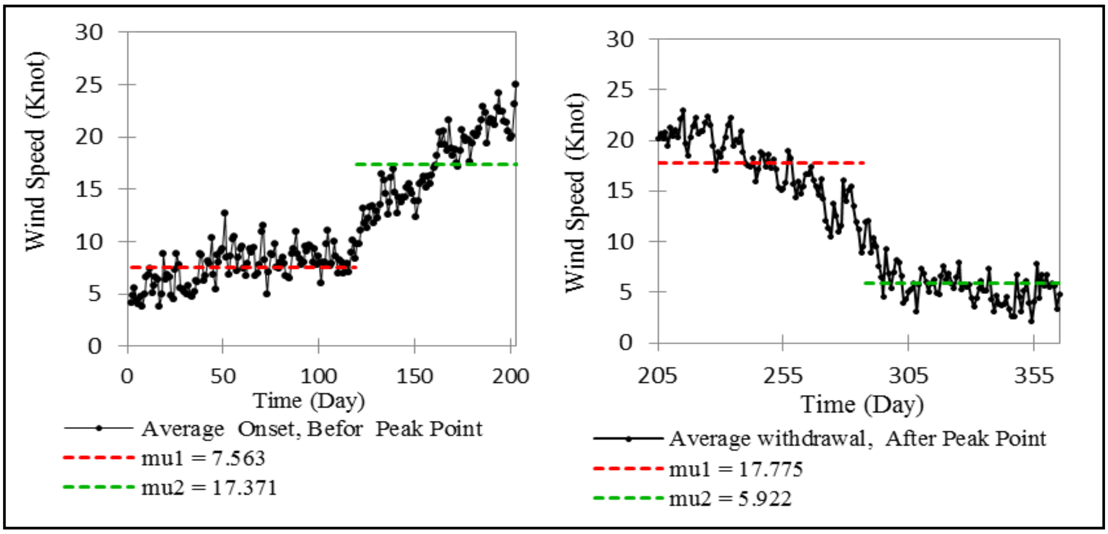
به منظور فراهم نمودن تصویری اقلیمی از زمان اغازگری و خاتمه باد سیستان شکل ۱۴ با بهره گیری از داده‌های یک دوره ۲۰ ساله برای زمان آغازگری و یک دوره ۱٦ ساله برای زمان خاتمه تهیه گردیده است.



شکل۱۲ زمان خاتمه باد سیستان به روش‌های متفاوت آماری در دوره ٤۱ ساله به همراه میزان بیشینه شدت باد (خط ممتد سیاه).



شکل۱۳ طول دوره وزش باد سیستان به روش‌های متفاوت آماری در دوره ٤۱ ساله به همراه میزان بیشینه شدت باد.



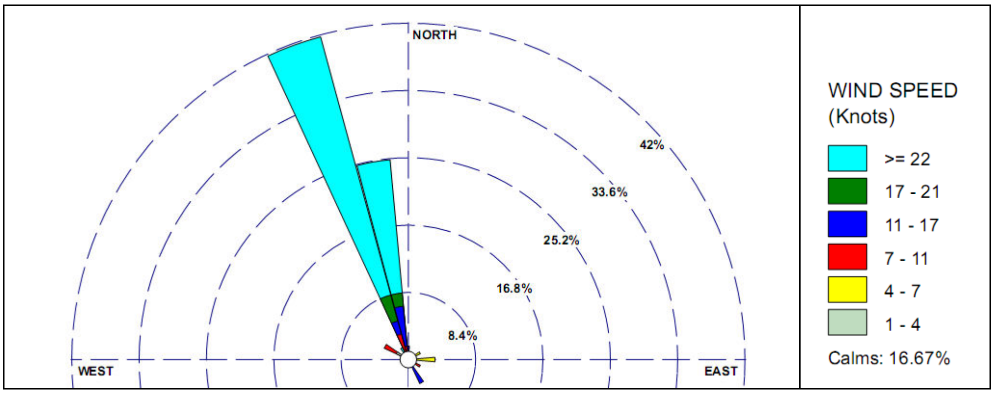
شکل١٤ زمان متوسط درازمدت آغازگری (چپ) و خاتمه (راست) باد سیستان بر اساس روش پتیت. در شکل از سری داده‌های مربوط به سال‌هایی که کمترین انحرافات (نمره Z بین ۰/۵- تا ۰/۵) را از میانگین درازمدت زمان آغازگری (۲۰ سال) و خاتمه (١٦ سال) باد سیستان داشته اند، استفاده شد. در تهیه نمودار میانگین متحرک ۵ روزه بکار گرفته شد.

با در نظر گرفتن این نکته که زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان از سالی به سال دیگر تفاوت دارد، در تولید شکل ١٤ از تمامی سال هایی که کمترین انحرافات را از میانگین درازمدت زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان داشته اند، استفاده شد. درعین حال، برای تخمین زمان آغازگری و خاتمه باد از روش پتیت که دارای کارایی بالاتر و دقت بیشتری است، بهره گرفته شد. با در نظرگرفتن محاسبات انجام شده، زمان متوسط آغازگری و خاتمه باد سیستان به ترتیب روزهای ۱۱۹ ام و ۲۸۷ ام از سال میلادی و طول دوره وزش باد سیستان نیز ١٦٦ روز تعیین گردیده است.

٤,٢. بررسی آغازگری و خاتمه باد سیستان با استفاده از جهت وزش باد غالب

یکی از ویژگی‌های مهم باد سیستان، جهت غالب شمال‌غربی این باد است (سلیقه، ۱۳۸۲). با توجه به پژوهش‌های گذشته، آغاز باد سیستان با یک تغییر در جهت وزش باد غالب و در عین حال تداوم وزش آن از یک قطاع و زاویه محدود قابل شناسایی است. همان‌طوری که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، جهت غالب باد سیستان شمال‌غربی بوده و میزان فراوانی وقوع باد در طول دوره گرم در قطاع یادشده بسیار بیشتر از هر قطاع دیگری می‌باشد. بنابراین به منظور ارزیابی اعتبار این روش‌ها و این که کدامیک از روش‌های به کار بسته شده از نتایج قابل قبول تر و نزدیک‌تر به خصوصیات باد سیستان برخوردار است، از داده‌های جهت شدیدترین باد روزانه و همچنین جهت باد در ساعت‌های ۳ و ٦ به وقت گرینویچ در ایستگاه زابل بهره گرفته شد. درعین حال به جهت محدودیت در ارائه مطالب، در این پژوهش صرفاً نتایج مربوط به دو سال از دوره مطالعه ارائه خواهد شد. سال ١٩٨٤ به این دلیل انتخاب شد که ایستگاه زابل شدیدترین باد را تجربه نموده است. همچنین سال ۲۰۰۹ به این جهت مدنظر قرار گرفت که هر سه روش، روز مشابهی را به عنوان روز آغاز باد سیستان تعیین نموده‌اند. در واقع انتخاب زمان‌ها و ویژگی‌های متفاوت از وقوع باد سیستان، ارزیابی میزان دقت روش‌های آماری بکار گرفته شده در این تحقیق را به نحو مطلوب تری امکان‌پذیرخواهد ساخت. به عنوان نمونه شکل ١٦ جهت شدیدترین بادهای روزانه را در طول سال ١٩٨٤ نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل مشاهده می‌گردد، باد سیستان در چند ماه آغازین سال دارای نوسان های قابل توجهی بوده و در جهت‌های مختلفی وزیده است. نوسانات یادشده تا روز ۱۲۱ام به طول انجامیده است. به عبارتی، باد سیستان واقعی از روز ۱۲۱ ام تا روز ژولیوسی ۲۷۵ ام به مدت ۱۵۵ روز بطور پیوسته از جهت شمال غربی وزیده است. در این میان، باد سیستان تنها در سه روز متوالی ١٤٨، ١٤٩ و ۱۵۰ ام و روز ١٦٣ ام جهتی متفاوت با جهت غالب را تجربه نموده است. به نظرمی رسد تغییرات کوتاه مدت درون فصلی یادشده در جهت وزش باد غالب (تغییرات یک تا چند روزه)، ناشی از تغییرات گذرا و موقت در ساختار منطقه ای گردش جو باشد. بر اساس سه روش پتیت، SNHT و بویشند زمان آغازگری باد سیستان در سال ١٩٨٤ به ترتیب روزهای ۱۲۱، ۱۵۰ و ۱۲۵ ام) و زمان خاتمه آن به ترتیب روزهای ۲۷۵، ٢٨٦ و ۲۷۵ ام تعیین گردیده است. با در نظر گرفتن روز آغاز باد سیستان با توجه به جهت وزش باد غالب و مقایسه آن با نتایج سه روش نقطه تغییر، می بایست اذعان داشت که روش پتیت به خوبی روز آغاز باد سیستان را شناسایی نموده است. همچنین در ارتباط با خاتمه وزش باد سیستان نیز مشاهده می‌گردد که پس از وزش باد سیستان به مدت ۱۵۵ روز با جهت غالب شمال‌غربی و شمالی، مجدداً در روز ٢٧٦ ام نوسانات شدید در جهت وزش باد آغاز می گردد که نشانه خاتمه باد

سیستان است. نتایج بیانگر آن است که زمان خاتمه محاسبه شده در دو روش پتیت و بویشند تطابق بیشتری با زمان خاتمه بـاد سیستان بر اساس جهت وزش باد غالب در منطقه سیستان دارد، این در حالی است که روش SNHT زمـان متفـاوتی را بـرای خاتمه باد تعیین نموده است.

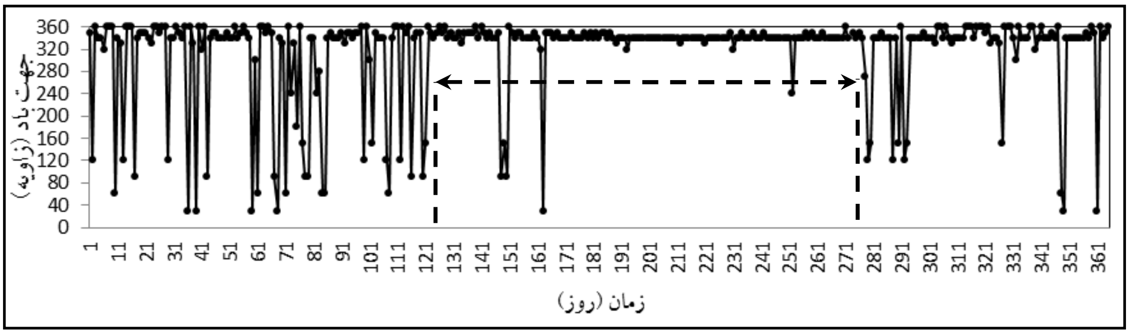


شکل ۱۵ گلباد سالانه برای ایستگاه زابل (سال ۱۹۸٤)

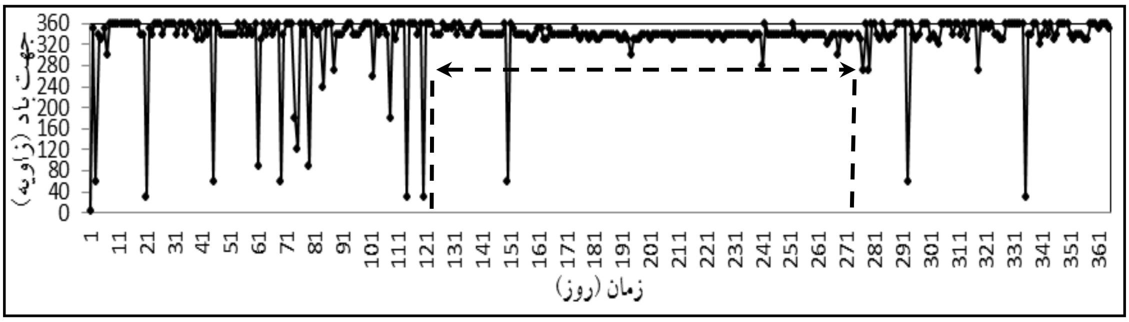
شایان ذکر است که در طول ساعات شب به جهت محو تلاطم‌هـای سـطحی و بـه تبـع آن کـاهش و یـا ناپدیـد شـدن همرفت‌های محلی، میزان تاثیر جریان متلاطم محلی بر ساختار باد مقیـاس منطقـه‌ای کـاهش مـی‌یابـد. بـه حـداقل رسـیدن تفاوت‌های منطقه ای در گرمایش کوه و دشت از یک سو و کاهش میزان همرفت و نبود تلاطم‌های سطحی از سـوی دیگـر، تأثیرپذیری باد سیستان از اصطکاک و شرایط محلی را در ساعات شب به حداقل می‌رساند. کـاهش نقـش عوامـل محلـی در ساعات یادشده سبب می‌گردد تا باد سیستان خصوصیات مقیاس منطقه‌ای خود را به نحو بـارزتری نمایـان سـازد. بـه همـین جهت در مطالعه حاضر جهت وزش باد برای ساعات ۳ و ٦ گرینویچ مورد بررسی قرار گرفت. شـکل‌هـای ۱۷ و ۱۸ جهـت وزش روزانه باد سیستان را برای سال ۱۹۸٤ به تفکیک در ساعت ۳ و ٦ گرینویچ نشان می‌دهند. همـان‌طـوری کـه ملاحظـه می‌گردد، در تابستان ۱۹۸٤ جهت باد از روز ۱۲۱ ام از یک امتداد شمال‌غربی برخوردار شده و این روند تـا روز ۲۷۵ ام ادامـه یافته است. ثبت های انجام شده بیانگر آن است که از روز ۲۷٦ ام جهت باد در ایستگاه زابل از ثبات برخوردار نبـوده و دچـار نوسانات قابل ملاحظه ای گردیده است، که می توان این امر را نشانه ای برای خاتمه باد سیستان قلمداد نمود. بررسـی مقایـسه ایی جهت وزش روزانه باد و تغییرات شدت آن در سال ۱۹۸٤ حکایت از آن دارد که روش پتیت به نحو دقیق تر و مطلـوب تری زمان آغاز و خاتمه باد سیستان را برآورد می‌نماید. شکل‌گیری باد شمال غربی در روز ۱۲۱ ام و تداوم جهت یاد شـده تـا روز ۲۷۵ ام، دقت بالاتر روش پتیت را در قیاس با دو روش SNHT و بویشند نشان می‌دهد. بدین ترتیـب مـی‌تـوان نتیجـه گرفت که روش پتیت در قیاس با دو روش دیگر شاخص مناسب‌تری برای تعیین زمان آغازگری وخاتمه باد سیستان به شمار می آید.

جدول‌های ضمیمه ۱ و ۲ پارامترهای محاسباتی مربوط به سه روش مورد استفاده در تعیین نقطه تغییر را نشان می‌دهند. بر اساس محاسبات انجام شده، سه روش آماری بکار گرفته شده در ۱۸ سال از ٤۱ سال مـورد بررسـی، زمـان مـشابهی را

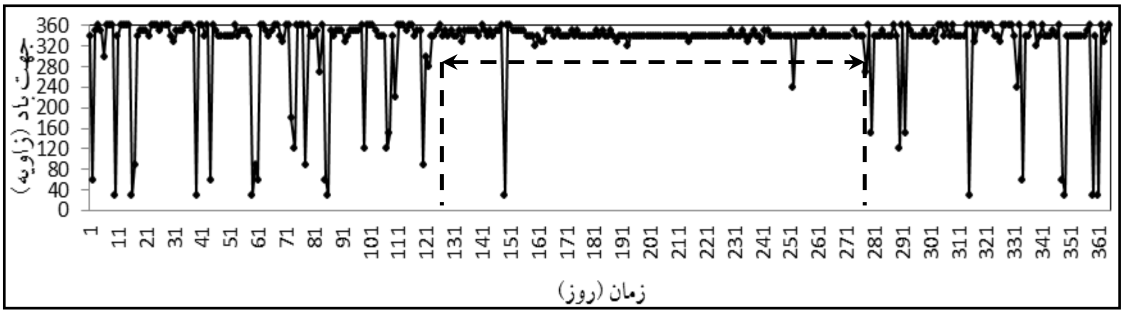
برای آغازگری باد سیستان تخمین زده اند. این مقدار برابر با ٤٢ درصد از کل سال‌های آماری مورد مطالعه می باشد. از میان سال‌های با تخمین مشابه، سال ۲۰۰۹ به عنوان نمونه به منظور اعتبارسنجی آورده شده است. جهت وزش بـاد در ایـستگاه زابل در طول سال ۲۰۰۹ تا روز ۱۳۱ ام دارای نوسانات قابل ملاحظه ای است اما از روز ۱۳۱ ام جهت شدیدتـرین بـادهـا دارای امتداد شمال‌غربی می‌گردد (شکل۱۹). یعنی باد در روز ۱۳۱ ام یک تغییر ناگهانی را در جهت وزش خود تجربه مـی نماید و پس از آن به یک نوع ثبات دست می یابد. هر سه روش نقطه تغییر، آغاز باد سیستان را در سـال ۲۰۰۹ بـه خـوبی شناسایی نموده‌اند، اما در مورد شناسایی روز خاتمه باد سیستان، با توجه جهت وزش باد گزارش شده، روش پتیت نـسبت به دو روش دیگر بهتر توانسته این روز را شناسایی کند (شکل۱۹). روزهای خاتمه باد سیستان به سه روش پتیت، SNHT و بویشند به ترتیب عبارتند از ۲۹۷، ۲۵۲ و ۲۹۳. شکل ۱۹ گویای این مطلب می‌باشد.



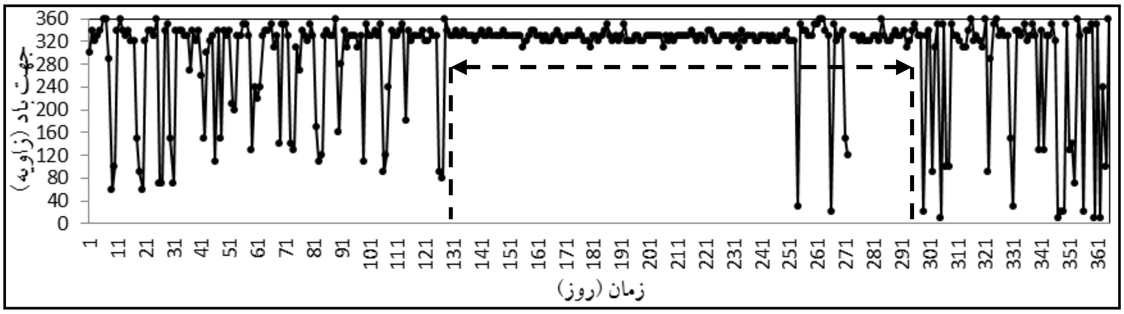
شکل۱٦ جهت شدیدترین باد در ایستگاه زابل در سال ۱۹۸٤. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می دهد.



شکل۱۷ جهت باد در زابل برای ساعت ۳ گرینویچ در سال ۱۹۸٤. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می‌دهد.

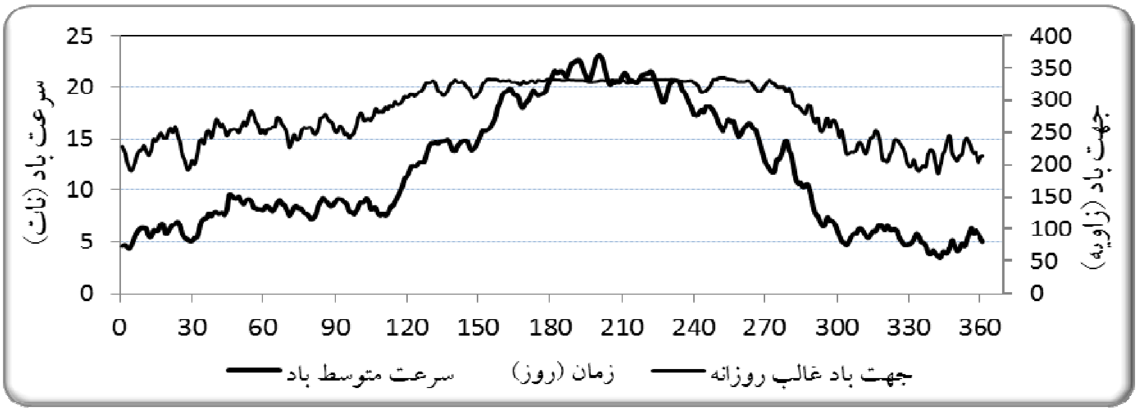


شکل۱۸ جهت باد در زابل برای ساعت ٦ گرینویچ در سال ۱۹۸٤. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ جهت شدیدترین باد در زابل در سال ۲۰۰۹. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می دهد.

در عین حال، به منظور فراهم نمودن تصویری اقلیمی از زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان، شکل ۲۰ تهیه گردیده است. در این شکل، بطور همزمان تغییرات روزانه شدت و جهت باد در ایستگاه زابل از ابتدای سال به نمایش درآمده است. از آنجایی که در تکوین فصلی باد سیستان، زمان آغازگری، نقطه اوج و زمان خاتمه باد سیستان از سالی به سال دیگر تفاوت دارد، در تولید شکل از داده های مربوط به سال‌هایی استفاده شد که کمترین انحرافات را از میانگین درازمدت زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان داشته اند.



شکل ۲۰ متوسط درازمدت شدت (خط ضخیم) و جهت باد (خط نازک) در ایستگاه زابل. در شکل از سری داده های روزانه مربوط به سال هایی که کمترین انحرافات (نمره Z بین ۰/۵- تا ۰/۵) را از میانگین درازمدت زمان آغازگری (تعداد ۲۰ سال) و خاتمه (تعداد ١٦ سال) باد سیستان داشته اند، استفاده شد. در ترسیم شکل از دو سری داده، شامل داده‌های آغازگری و داده‌های خاتمه استفاده شد. داده‌های آغازگری از ابتدای سال تا زمان متوسط اوج (روز ۲۰۳ ام) و داده‌های خاتمه از روز پس از اوج تا پایان سال را در بر می گیرند.

با توجه به شکل، باد سیستان پس از یک تغییر ناگهانی در شدت و جهت وزش باد، در روز ۱۱۹ ام آغاز گردیده و مجدداً به واسطه یک تغییر قابل توجه در جهت و شدت باد، در روز ۲۸۵ ام خاتمه یافته است. نکته قابل ذکر آنکه، در طول مدت وزش باد سیستان (یعنی ١٦٦ روز در حدفاصل زمان آغازگری و خاتمه)، جهت وزش باد در قیاس با شدت وزش، از پایداری و ثبات بالاتری برخوردار بوده است.

۴،۳. بررسی روند آماری خصوصیات باد

در این تحقیق علاوه بر بررسی ویژگی‌های باد (زمان آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش) در طول دوره آماری با استفاده از روش ناپارامتریک من کندال (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵؛ سرانو، ۱۹۹۹) روند این خصوصیات نیز بررسی شد. جدول شماره ۱ نتایج آزمون ناپارامتریک من کندال را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی این که آیا در داده‌ها روند معنی دار اعم از افزایشی و یا کاهشی وجود دارد یا خیر، از سطح معنی‌داری (P-Value) استفاده شده است. فرض صفر در این آزمون عبارت است از آن که روندی معنی‌دار بین داده‌ها (سری زمانی آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان) وجود ندارد. اگر مقدار P-Value از مقدار خطا کمتر باشد فرض این که هیچ روند معنی‌داری بین داده‌ها وجود ندارد؛ غیر محتمل بوده درنتیجه می‌پذیریم که داده‌ها دارای روند هستند و در طول زمان دچار تغییر شده‌اند. برعکس اگرمقدار P-Value بزرگ باشد احتمال این که داده ها از روندی برخوردار نباشند بسیار زیاد خواهد بود. بنابراین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول۱ می توان بر عدم وجود روند بین داده‌ها حکم نمود.

جدول ۱ نتایج آزمون ناپارامتریک من کندال در رابطه با زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان

شرح	روش‌های تعیین نقطه تغییر	Kendall's tau	آماره S	واریانس Var(S)	p-value (Two-tailed)	آلفا (سطح مجاز خطا)
آغاز	(Pettitt)	۰/۰۰	٤	۷۹۰۸/٦۷	۰/۹۷	۰/۰۵
	(SNHT)	−۰/۰٦	− ۵۲	۷۹۱٦/۰۰	۰/۵۷	۰/۰۵
	(Buishand)	−۰/۰۷	−٦۰	۷۹۱۱/۳۳	۰/۵۱	۰/۰۵
خاتمه	(Pettitt)	−۰/۰۱	−۱۲	۷۹۰۸/٦۷	۰/۹۰	۰/۰۵
	(SNHT)	۰/۰۰	۲	۷۹۲۰/٦۷	۰/۹۹	۰/۰۵
	(Buishand)	−۰/۰۸	−٦۵	۷۹۱۰/۳۳	۰/٤۷	۰/۰۵
مدت وزش	(Pettitt)	−۰/۰۷	−۵۳	۱۵۷۹/۰۰	۰/۵٦	۰/۰۵
	(SNHT)	۰/۰۳	۲۷	۷۹۱۷/٦۷	۰/۷۷	۰/۰۵
	(Buishand)	−۰/۰۱	−۹	۷۹۱۷/۰۰	۰/۹۳	۰/۰۵
شدت باد	−	۰/۱۹	۱۵۲	۷۹۲۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۵

در جدول مذکور ستون ٦ سطح معنی‌داری و ستون هفتم مقدارخطا یا به بیـانی آلفـا بـه تفکیـک بـرای هریـک از خصوصیات باد آورده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد در تمامی روش‌ها مقدار سـطح معنـی‌داری از مقدار آلفا بزرگ‌تر است که به معنی آن است که داده‌ها از روند مشخصی برخوردار نیـستند و نمـی‌تـوان فـرض صفر را رد نمود. نتیجه نهایی حاصل از روندیابی خصوصیات باد سیستان حکایت از آن دارد که باد سیـستان در هیچ‌یک از خصوصیات خود در طول دوره مورد مطالعـه از رونـدی معنـی‌دار برخـوردار نبـوده اسـت. لازم بـه توضیح است که در جدول ۱، ستون سوم تا پنجم پارامترهای آماره من کندال است.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور تعیین زمان آغاز، زمان خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان از سه روش شناسـایی نقطه تغییر، همچنین از جهت وزش باد غالب استفاده شد. بررسی نتایج بیانگر آن است که تقریبا هـر سـه روش شناسایی نقطه تغییر در رابطه با ویژگی های باد سیستان، اعداد نزدیک به یکدیگر را نشان می‌دهند. بـه ویـژه دو روش پتیت و بویشند که دارای همبستگی حدود ۰/۷ برای روزهای آغاز و حدود ۰/۷۵ برای روزهـای خاتمـه می‌باشند. نتایج همچنین بیانگر آن است که روش پتیت در قیاس با دو روش دیگر ویژگی‌های باد سیستان را بـه نحو بهتری نشان می‌دهد. البته این به معنای عدم کارایی دو روش دیگر نمی‌باشد. بنابراین بر اساس روش پتیـت به طور متوسط باد سیستان در روز ۱۲۲ ام سال یعنی روز دوم ماه می آغاز شده و به طور متوسط به مـدت ۱٦۵ روز در طول دوره گرم سال می‌وزد. باد سیستان در نهایت در روز ۲۸۷ ام ژولیوسی برابر بـا ١٤ اکتبـر بـه پایـان می‌رسد.

نتایج بررسی حکایت از آن دارد که باد سیستان در تکوین زمانی خود در طول دوره گرم سال بطور هم زمان دو ویژگی متفاوت را از خود بروز می دهد. به عبارتی، باد سیستان در دوره وزش خود در طـول مـاه‌هـای گـرم سال دو نوع تغییر را تجربه می نماید. نوع اول تغییرات از یک نظم و آهنگ برخوردارند کـه خـود بـه دو دسـته کلی شامل تغییرات شبانه روزی و افزایش و کاهش تدریجی در شدت وزش باد تقسیم می‌گردنـد کـه مـی‌تـوان این رفتار را متاثر از عوامل محلی و آهنگ فصلی تابش خورشیدی دانست. این ویژگی، جنبه مقیاس محلـی بـاد سیستان را عیان می‌سازد. در مقابل، علاوه بر ویژگی‌های محلی یاد شده، بـاد سیـستان در مـسیر تکـوین فـصلی خود دو سری نوسانات و تغییرات ناگهانی را نیز به عنوان نوع دوم تغییرات تجربه می نمایـد، کـه آن نیـز بـه دو دسته اصلی قابل تقسیم است. سری اول تغییرات ناگهانی، آنهایی هستند که در طول دوره گـرم سـال بـه شـکل نوسانات و تغییرات چند روزه نمود می یابند و از منظر شدت و جهت وزش بـاد از نظـم خاصـی پیـروی نمـی نمایند. به نظر می رسد این تیپ تغییرات ناگهانی چند روزه، ناشی از عبور سامانه‌های همدیـدی بـرون حـاره از روی منطقه باشد. در مقابل، تیپ دوم تغییرات ناگهانی، آنهایی هستند که سبب آغاز و خاتمه واقعی باد سیـستان

می‌گردند. این تغییرات ناگهانی از یک سو در طول فصل بهار به واسطه تسلط نسبتاً ناگهـانی بادهـای شـدید بـا جهات شمال–شمال‌غربی در منطقه سیستان، نشان از آغازگری باد سیستان دارند و از سوی دیگر، در پایـان دوره گرم به واسطه کاهش قابل ملاحظه در شدت وزش باد شمال–شـمال‌غربـی و پیـدایش نواسـانات و بـی نظمـی نسبتاً ناگهانی در جهت وزش باد، از خاتمه وزش باد سیستان حکایت مـی کننـد. بـه عبـارت دیگـر، تیـپ دوم تغییرات ناگهانی از یک سو از به ثبات رسیدن جریانات ترازهای زیرین و آغازگری باد سیـستان در ابتـدای دوره گرم حکایت می کند و از سوی دیگر نشانه ایی برای از ثبات خارج شدن این جریانات و خاتمه باد سیـستان در روزهای پایانی دوره گرم می باشد.

یافته های تحقیق بیانگر آن است که باد سیستان تغییرات و وردایی های سال به سال قابـل ملاحظـه ای را در تمامی جنبه های مورد بررسی، از جمله زمان آغازگری، زمان اوج وزش، زمـان خاتمـه و مـدت وزش از خـود نشان می دهد. نتایج تحقیق همچنین حاکی از آن است که تغییرات بالای شدت وزش باد از سالی به سال دیگـر، از دیگر خصوصیات رفتاری باد سیستان است که به نظر می‌رسـد واداشـت‌هـای خـارجی و مولفـه‌هـای بـزرگ مقیاس یا مقیاس منطقه‌ای گردش جو نقش اصلی را در ایجاد آنها برعهده دارند. به طـور کلـی مـی‌تـوان نتیجـه گرفت که باد سیستان علاوه بر احراز خصوصیات یک باد محلی، احـراز خـصوصیاتی چـون افـزایش و کـاهش نسبتاً ناگهانی شدت باد در زمان آغازگری و خاتمه، همچنین تغییرات سال بـه سـال در زمـان آغـاز، زمـان اوج، شدت وزش، مدت وزش و زمان خاتمه، حکایت از تاثیرپذیری بسیار زیاد این باد از گـردش منطقـه ای جـو در شرق فلات ایران دارد. به عبارتی دیگر، تمامی شواهد فوق، از نقش واداشت‌های خارجی در تـشکیل و تکـوین باد سیستان حکایت دارند. نقش واداشت‌های خارجی بر نوسانات درون فصلی، همچنین نقش این واداشت‌ها بر وردایی سال به سال در خصوصیات باد سیـستان (زمـان آغـازگری، خاتمـه و زمـان اوج) خـارج از چـارچوب پژوهش حاضر بوده، اما می تواند به عنوان موضوع اصلی برای انجام پژوهش‌های آتی مد نظر قرار گیرد.

کتابنامه

حسین‌زاده، سیدرضا. (۱۳۷٦). بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ٤٦، ۱۲۷–۱۰۲.

خسروی، محمود. (۱۳۸۹). بررسی توزیع عمودی گردو غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS در منطقه سیستان ایران. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام. ایران. زاهدان. ۲۵ الی ۲۷ فروردین.

لشکری، حسن؛ و کیخسروی، قاسم. (۱۳۸۷). تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و خاک استان خراسان رضوی. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ٦٥، ۳۳–۱۷.

سلیقه، محمد. (۱۳۸۲). توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱ (۲)، ۱۲۱–۱۰۹

سلیقه، محمد. (۱۳۸۹). آثار مشترک تقابل حرارتی سیستم‌های جوی در کشورهای اسلامی مطالعه موردی: بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ایران. زاهدان. ۲۵ الی ۲۷ فروردین.

کاویانی، محمدرضا، و علیجانی، بهلول. (۱۳۷۸). مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. چاپ ششم.

علی اکبری بیدختی، عباسعلی و برومند، نرگس. (۱۳۸۵). مطالعه‌ای بر بادهای گپ منطقه دشت لوت. مجله بیابان. جلد۱۱. شماره ۱، ۳۰-۱۳.

علیجانی، بهلول. (۱۳۷۳). آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور.

طاوسی، تقی و رئیس‌پور، کوهزاد. (۱۳۸۹). تحلیل آماری و پیش‌بینی احتمال وقوع طوفان‌های شدید با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی (مطالعه موردی: منطقه‌ی سیستان). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. جلد۱. شماره ۲، ۱۰۵-۹۳.

مفیدی، عباس؛ کمالی، سمیه و زرین، آذر. (۱۳۹۲). ارزیابی توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکارسازی ساختار توفان‌های گردوغباری تابستانه در دشت سیستان. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فن‌آوری پیشرفته کرمان. ۳۱ اردیبهشت و ۱ خرداد.

میری، عباس، پهلوانروی، احمد، و مقدم نیا، علیرضا. (۱۳۸۸). بررسی وقوع طوفان های گردوخاک در منطقه سیستان پس از وقوع خشکسالی های تناوبی. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. جلد ۱۶. شماره ۳، ۳۴۲-۳۲۹.

Alexandersson, H., 1984. A Homogeneity Test Basedon Ratiosand Applied to Precipitation Series. Report 79, Department of Meteorology, Uppsala, 55p.

Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. Journal of Climatology 6 (6), 661–675, DOI: 10.1002/joc.3370060607.

Alijani, B., 1994. Climate of Iran. Payam-e-Noor publication. Tehran. 60-105.

Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2013. Low level jet intensification by mineral dust aerosols. Ann. Geophys. 31, 625–632, DOI: 10.5194/angeo-31-625-2013.

Amiri, A. and Allahyari, S., 2011. Change Point Estimation Methods for Control Chart Post signal Diagnostics: A Literature Review. (wileyonlinelibrary.com) DOI:10.1002/qre. 1266. International reliability Engineering International.

Atkinson, B. W., 1981. Meso-scale Atmospheric Circulation. Academic Press, 495 pp.

Bidokhti, A.A, and Boromand, N., 2006. Study of Gap winds in the Lut Plateau. Beyaban 11 (1), 13-30.

Buishand T.A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology 58, 11-27.

Cook B. and Buckley, B. M., 2009. Objective determination of monsoon season onset, withdrawal, and length. Journal of Geophysical Research 114. D23109, doi: 10.1029/2009JD012795.

Goudie, A. S., and Middleton, N.J., 2001. Dust storm in South West Asia. Acta Univ Car., XXXV, 37-83.

Gullet, D. W., Vincent, L., Malone, L., 1991. Homogeneity testing of monthly temperature series: Application of multi-phase regression models with mathematical changepoint. Canadian Climate Centre Rep. 91-10 Atmospheric Environment Service, Downsview, ON, Canada, 47pp.

Hosseinzadeh, SR., 1997. The winds of one hundred and twenty day of Sistan. Geographical Research Quarterly 46, 102-127.

Huntington, E., 1905. The depression of Sistan in eastern Persia. Bulletin of the American geographical society 32(5), 221-281.

Kaviani, MR., and Alijani, B., 1999. The Fundamental of Climatology. SAMT, 6th edition, Tehran.

Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin and Company Limited. London. U.K. 202 p.

Khosravi, M., 2010. Survey on the vertical distribution of dust and particle arising from duststorms in Middle East using NAAPS model. Proceeding of 4th international congress of the Islamic world geographers, April 14-16, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.

Lashkari, H., and Keykhosravi, Gh., 2008. Synoptic and statistical analysis of duststorms in Khorasan Razavi province. Physical Geographical Research Quarterly 65, 17-33.

Lund, R., and Reeves J., 2002. Detection of undocumented change points: A revision of the two-phase regression model, J. Climate 15, 2547–2554.

Mann, H.B., 1945. Nonparametric Tests against Trend. Econometrica 13, 245-259.

McMahon, H., 1906 a. Recent survey and exploration in Seistan. PartI. Journal of the Royal Geographical Society 28 (3), 209-228.

McMahon, H., 1906 b. Recent survey and exploration in Seistan. PartII. Journal of the Royal Geographical Society 28 (4), 333-240.

Middelton, N.J., 1986. Dust storms in the Middle East. J. Arid Environ. 10, 83-96.

Mofidi, A., Kamali, S., and Zarrin, A., 2013. Evaluation of the RegCM4 model coupled with Dust module on identification of dust storm features over the Sistan region. The First National Conference on Climatology of Iran, May 21-22, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics 28 (2), 126–135.

Miri, A., Pahlevanroy, A., and Moghaddamnia, A.R., 2009. The study of occurrence of duststorms after taking place alternative droughts in Sistan region. Iranian Journal of Range and Desert Research 16(3), 329-342.

Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C.J.de W., Eriksson, P.G., Giang, M., and Gupta, P., 2012. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. Aeolian Research 5, 51–62, doi: 10.1016/j.aeolia.2011.12.001.

Rashki, A., Eriksson, P.G., Rautenbach, C.J.de W., Kaskaoutis, D.G., Grote, W., and Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. Chemosphere 90, 227–236.

Saligheh, M., 2003. Considering the wind in building the physical elements of Zabol city. Geography and Development 1 (2), 109-121.

Saligheh, M., (2010). The common effects of interaction between pressure systems with different scales in Islamic countries, (case study: The winds of 120 day of Sistan). Proceeding of 4th international congress of the Islamic world geographers, April 14-16, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.

Serrano, A., Mateos, V.L. and Garcia, J.A., (1999). Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. Phys. Chem. Earth (B), 24(1-2), 85-90.

Smith, G.I., (1974). Quaternary deposits in southwestern Afghanistan, Quaternary Research, 4, 39–52.

Solow, A. (1987). Testing for climate change: An application of the two-phase regression model, J. Clim. Appl. Meteorol., 26, 1401–1405.

Tavousi, T., and Raeispoor, K., (2010). Statistical analysis and prediction of occurrence probability of violentStorms using partial series analysis method, (Case study: Sistan area). Geographical studies of Arid Regions, 1 (2), 93-105.

Thompson, C. S., (1984). Homogeneity analysis of rainfall series: An application of the use of a realistic rainfall model, J. Climatology., 4, 609-616.

Whitney, J.W., (2006). Geology, water, and wind in the lower Helmand Basin, southern Afghanistan, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006–5182, 40p.

Zhang, W., Yan, Y., Zheng, J., Li, L., Dong, X., and Cai, H. (2009). Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. Global and Planetary Change, 69, 35–47.

ضمایم

جدول ۱ پارامترهای محاسباتی و زمان آغاز باد سیستان در دوره مطالعه

Pettitt's test					Standard normal homogeneity test (SNHT)				Buishand's test			
سال	K	زمان آغازگری	p-value (Two-tailed)	alpha	T0	زمان آغاز گری	p-value (Two-tailed)	alpha	Q	زمان آغاز گری	p-value (Two-tailed)	alpha
72	4590	133	0.0001 >	0.05	44.67	139	0.0001 >	0.05	41.68	133	0.0001 >	0.05
73	8767	120	0.0001 >	0.05	82.95	120	0.0001 >	0.05	67.96	120	0.0001 >	0.05
74	7864	143	0.0001 >	0.05	88.75	143	0.0001 >	0.05	65.04	143	0.0001 >	0.05
75	8813	137	0.0001 >	0.05	86.25	148	0.0001 >	0.05	67.34	148	0.0001 >	0.05
76	13006	136	0.0001 >	0.05	128.34	142	0.0001 >	0.05	89.60	142	0.0001 >	0.05
77	11691	153	0.0001 >	0.05	123.33	155	0.0001 >	0.05	84.55	155	0.0001 >	0.05
78	3355	71	0.0001 >	0.05	39.32	133	0.0001 >	0.05	31.09	121	0.0001 >	0.05
79	7622	137	0.0001 >	0.05	77.99	137	0.0001 >	0.05	62.41	137	0.0001 >	0.05
80	4327	124	0.0001 >	0.05	60.02	129	0.0001 >	0.05	44.88	129	0.0001 >	0.05
81	14983	135	0.0001 >	0.05	147.07	135	0.0001 >	0.05	98.68	135	0.0001 >	0.05
82	9718	122	0.0001 >	0.05	105.42	122	0.0001 >	0.05	76.28	122	0.0001 >	0.05
83	6626	71	0.0001 >	0.05	59.86	133	0.0001 >	0.05	54.81	133	0.0001 >	0.05
84	3119	121	0.0001 >	0.05	43.66	150	0.0001 >	0.05	29.78	125	0.0001 >	0.05
85	8260	125	0.0001 >	0.05	94.41	141	0.0001 >	0.05	68.13	125	0.0001 >	0.05
86	6095	68	0.0001 >	0.05	58.65	168	0.0001 >	0.05	50.65	107	0.0001 >	0.05
87	5645	109	0.0001 >	0.05	62.05	155	0.0001 >	0.05	51.46	109	0.0001 >	0.05
88	6364	121	0.0001 >	0.05	68.95	175	0.0001 >	0.05	53.20	121	0.0001 >	0.05
89	9802	108	0.0001 >	0.05	89.46	108	0.0001 >	0.05	71.88	108	0.0001 >	0.05
90	7351	127	0.0001 >	0.05	78.87	132	0.0001 >	0.05	62.00	127	0.0001 >	0.05
91	2853	114	0.0001 >	0.05	62.00	127	0.0001 >	0.05	30.79	115	0.0001 >	0.05
92	5134	117	0.0001 >	0.05	44.42	118	0.0001 >	0.05	45.52	117	0.0001 >	0.05
93	7392	142	0.0001 >	0.05	78.01	142	0.0001 >	0.05	61.19	142	0.0001 >	0.05
94	9462	135	0.0001 >	0.05	111.81	136	0.0001 >	0.05	76.18	135	0.0001 >	0.05
95	9086	127	0.0001 >	0.05	100.25	127	0.0001 >	0.05	73.07	127	0.0001 >	0.05
96	5132	114	0.0001 >	0.05	56.65	160	0.0001 >	0.05	44.50	114	0.0001 >	0.05
97	11151	124	0.0001 >	0.05	108.68	124	0.0001 >	0.05	80.14	124	0.0001 >	0.05
98	6349	113	0.0001 >	0.05	63.93	118	0.0001 >	0.05	54.93	118	0.0001 >	0.05
99	6268	110	0.0001 >	0.05	52.11	110	0.0001 >	0.05	52.11	110	0.0001 >	0.05
00	3235	121	0.0001 >	0.05	44.67	128	0.0001 >	0.05	35.86	121	0.0001 >	0.05
01	4943	129	0.0001 >	0.05	71.45	132	0.0001 >	0.05	50.67	132	0.0001 >	0.05
02	8411	118	0.0001 >	0.05	75.85	164	0.0001 >	0.05	62.76	118	0.0001 >	0.05
03	7069	117	0.0001 >	0.05	78.98	155	0.0001 >	0.05	60.00	117	0.0001 >	0.05
04	8504	136	0.0001 >	0.05	97.21	154	0.0001 >	0.05	67.59	140	0.0001 >	0.05
05	3673	93	0.0001 >	0.05	26.13	93	0.00	0.05	33.73	93	0.0001 >	0.05
06	7054	117	0.0001 >	0.05	94.76	128	0.0001 >	0.05	64.25	124	0.0001 >	0.05
07	7438	124	0.0001 >	0.05	88.52	124	0.0001 >	0.05	64.75	124	0.0001 >	0.05
08	8806	133	0.0001 >	0.05	92.54	149	0.0001 >	0.05	68.60	134	0.0001 >	0.05
09	12144	131	0.0001 >	0.05	127.03	131	0.0001 >	0.05	87.12	131	0.0001 >	0.05
10	9675	144	0.0001 >	0.05	88.73	144	0.0001 >	0.05	70.25	144	0.0001 >	0.05
11	3706	134	0.0001 >	0.05	48.18	134	0.0001 >	0.05	39.00	134	0.0001 >	0.05
12	8906	147	0.0001 >	0.05	118.31	147	0.0001 >	0.05	73.96	147	0.0001 >	0.05

جدول ۲ پارامترهای محاسباتی و زمان خاتمه باد سیستان در دوره مطالعه

Pettitt's test					(Standard normal homogeneity test (SNHT				Buishand's test			
سال	K	زمان خاتمه	p-value)(Two-tailed	alpha	T0	زمان خاتمه	p-value (Two-tailed)	alpha	Q	زمان خاتمه	p-value (Two-tailed)	alpha
72	5463	270	0.0001 >	0.05	91.93	239	0.0001 >	0.05	56.26	239	0.0001 >	0.05
73	4316	289	0.0001 >	0.05	86.60	282	0.0001 >	0.05	54.61	283	0.0001 >	0.05
74	4415	289	0.0001 >	0.05	69.72	277	0.0001 >	0.05	50.53	277	0.0001 >	0.05
75	3115	299	0.0001 >	0.05	50.15	273	0.0001 >	0.05	40.55	298	0.0001 >	0.05
76	1468	323	0.0001	0.05	17.88	258	0.0025	0.05	20.81	323	0.0002	0.05
77	1939	277	0.0001 >	0.05	43.55	276	0.0001 >	0.05	30.66	277	0.0001 >	0.05
78	8271	279	0.0001 >	0.05	100.15	279	0.0001 >	0.05	71.01	279	0.0001 >	0.05
79	4194	289	0.0001 >	0.05	64.09	285	0.0001 >	0.05	48.91	286	0.0001 >	0.05
80	7677	255	0.0001 >	0.05	106.01	255	0.0001 >	0.05	70.46	257	0.0001 >	0.05
81	1862	305	0.0001 >	0.05	47.22	304	0.0001 >	0.05	33.69	304	0.0001 >	0.05
82	3853	269	0.0001 >	0.05	83.54	265	0.0001 >	0.05	49.94	269	0.0001 >	0.05
83	3031	303	0.0001 >	0.05	29.24	309	0.0001	0.05	32.20	309	0.0001 >	0.05
84	8032	275	0.0001 >	0.05	102.99	286	0.0001 >	0.05	71.08	275	0.0001 >	0.05
85	4701	289	0.0001 >	0.05	74.97	289	0.0001 >	0.05	53.55	289	0.0001 >	0.05
86	4948	273	0.0001 >	0.05	72.43	256	0.0001 >	0.05	53.53	273	0.0001 >	0.05
87	5322	292	0.0001 >	0.05	64.38	258	0.0001 >	0.05	52.53	268	0.0001 >	0.05
88	5335	292	0.0001 >	0.05	79.56	292	0.0001 >	0.05	56.52	292	0.0001 >	0.05
89	3000	316	0.0001 >	0.05	41.07	266	0.0001 >	0.05	35.64	308	0.0001 >	0.05
90	4698	292	0.0001 >	0.05	66.78	271	0.0001 >	0.05	50.58	271	0.0001 >	0.05
91	7238	287	0.0001 >	0.05	94.98	287	0.0001 >	0.05	66.26	287	0.0001 >	0.05
92	5938	274	0.0001 >	0.05	88.38	274	0.0001 >	0.05	61.32	274	0.0001 >	0.05
93	4366	298	0.0001 >	0.05	69.63	298	0.0001 >	0.05	50.98	298	0.0001 >	0.05
94	4214	286	0.0001 >	0.05	76.25	266	0.0001 >	0.05	50.73	286	0.0001 >	0.05
95	3552	302	0.0001 >	0.05	53.98	249	0.0001 >	0.05	40.51	302	0.0001 >	0.05
96	5015	276	0.0001 >	0.05	61.92	276	0.0001 >	0.05	51.40	276	0.0001 >	0.05
97	2324	284	0.0001 >	0.05	38.41	267	0.0001 >	0.05	31.19	283	0.0001 >	0.05
98	5181	298	0.0001 >	0.05	69.55	299	0.0001 >	0.05	53.03	298	0.0001 >	0.05
99	5021	281	0.0001 >	0.05	65.06	281	0.0001 >	0.05	51.96	281	0.0001 >	0.05
00	8457	263	0.0001 >	0.05	104.20	263	0.0001 >	0.05	72.53	263	0.0001 >	0.05
01	6613	284	0.0001 >	0.05	85.81	284	0.0001 >	0.05	62.41	284	0.0001 >	0.05
02	3429	293	0.0001 >	0.05	45.96	293	0.0001 >	0.05	40.23	293	0.0001 >	0.05
03	5018	271	0.0001 >	0.05	73.20	270	0.0001 >	0.05	73.20	270	0.0001 >	0.05
04	3956	293	0.0001 >	0.05	58.05	282	0.0001 >	0.05	45.76	282	0.0001 >	0.05
05	6606	253	0.0001 >	0.05	80.70	269	0.0001 >	0.05	62.08	269	0.0001 >	0.05
06	6104	267	0.0001 >	0.05	96.71	262	0.0001 >	0.05	63.40	262	0.0001 >	0.05
07	5858	283	0.0001 >	0.05	90.57	283	0.0001 >	0.05	61.12	283	0.0001 >	0.05
08	3316	318	0.0001 >	0.05	48.36	264	0.0001 >	0.05	38.22	265	0.0001 >	0.05
09	2677	297	0.0001 >	0.05	43.45	252	0.0001 >	0.05	35.46	293	0.0001 >	0.05
10	2767	298	0.0001 >	0.05	35.62	298	0.0001 >	0.05	34.14	298	0.0001 >	0.05
11	7427	272	0.0001 >	0.05	89.82	264	0.0001 >	0.05	65.16	264	0.0001 >	0.05
12	4253	294	0.0001 >	0.05	59.96	278	0.0001 >	0.05	46.90	280	0.0001 >	0.05